

Math. a.

320 N

Jyndall

Thunberg

Botanisches Institut .
Kiel .

D A S L I C H T.

aus dem nachgelassenen Nachlass
des verstorbenen Herrn
Friedrich von ...
Herausgegeben von ...
Leipzig, ...

Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

P a p i e r
aus der mechanischen Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.



Sir Thomas Lawrence, P.R.A. Pinx^t

Henry Adlard. Sc.

Thomas Young



Thomas Young

(D A S L I C H T.

SECHS VORLESUNGEN

GEHALTEN

IN AMERIKA IM WINTER 1872 — 1873

VON

JOHN TYNDALL,

Professor der Physik an der Royal Institution zu London.

AUTORISIRTE DEUTSCHE AUSGABE

HERAUSGEGEBEN

DURCH

GUSTAV WIEDEMANN.

MIT EINEM PORTRAIT VON THOMAS YOUNG

UND

IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN.

BRAUNSCHWEIG,

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

1876.

G. n. 899

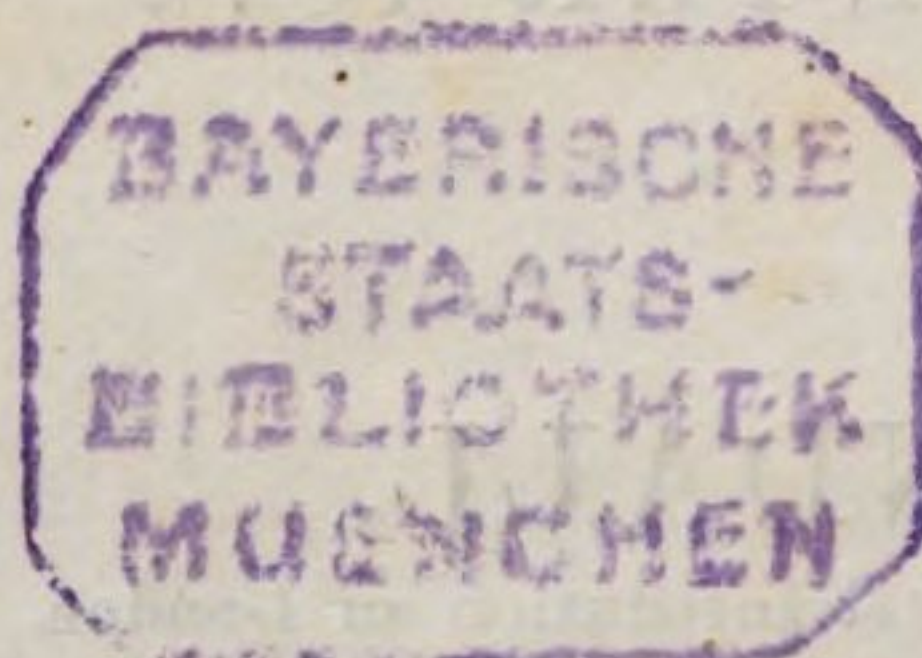
*Lib. M.
2535.*

D A S L I C H T.

SECHS VORLESUNGEN

VERFASST VON

IN AMERICA IM WINTER 1813



JOHN TY

AUTORISIRTE DEUTSCHE AUSGABE

HERAUSGEGEBEN

BEI

GUSTAV WIEDMANN.

MIT EINER PORTRAIT VON THOMAS YOUNG

VON

IN ZWEY THEILEN BINGELN

BRUNNEN

DRUCK UND VERLAG VON THEODOR FRIEDRICH FRIEDRICH UND SOHN

1816

Ms. 22.28



VORREDE

ZUR

AMERIKANISCHEN AUSGABE.

Mein ausgezeichneteter Freund Joseph Henry, Professor an der Smithsonian Institution in Washington, erzeigte mir die Ehre, diese Vorlesungen unter seine besondere persönliche Leitung zu nehmen und bestimmte die Zeit und den Ort, wo dieselben gehalten werden sollten.

Da ich glaubte, meine heimathlichen Verpflichtungen nicht auf längere Zeit aussetzen zu können, so hielt ich es Anfangs für nicht gut möglich, länger als bis Ende 1872 meinen Besuch in den Vereinigten Staaten auszudehnen.

Da nun Professor Henry dadurch in der Zeit sehr beschränkt war, begann er im Norden mit den Vorlesungen und von dort südwärts gehend, ordnete er an, dass dieselben der Reihe nach

in Boston, New-York, Philadelphia, Baltimore und Washington gehalten werden sollten.

Durch diese Einrichtung, die damals durch die Verhältnisse geboten war, fielen die Vorlesungen in New-York gerade in die Zeit der Präsidentenwahl. Dies wurde aber für unpraktisch gehalten und als man es mir vorstellte, erbot ich mich sogleich, die Zeit meines Besuches so weit zu verlängern, dass die Vorlesungen in New-York auf die in Washington folgen könnten. Der Vorschlag wurde von meinen Freunden mit Freuden angenommen.

Für mich war der so veränderte Plan sowohl angenehm als wohlthätig. Er bot mir sehr nothwendige und entzückende Feiertage an den Niagarafällen, und verlieh den auf einander folgenden Stationen meiner Thätigkeit eine Art Steigerung, die ihren Gipfelpunkt in New-York und Brooklyn fand.

Ueberall war meine Aufnahme eine durchaus freundschaftliche, und jetzt, wo mein Besuch der Vergangenheit angehört, ist mir die Erinnerung daran auch nicht durch einen einzigen Schatten getrübt. Ausser einem harten Schicksalsschlag ist nichts geschehen, das ich ungeschehen wünschte; während ich vom Anfang bis zum Ende nur das freundlichste Entgegenkommen von Seiten der Amerikaner gefunden habe, das ich meinerseits

nie vergessen werde. In der That ist das Wort „Entgegenkommen“ nicht genügend, um das Wohlwollen, das mir in den Vereinigten Staaten bewiesen worden ist, auszudrücken.

Ich wollte, dass es in meiner Macht gestanden hätte, den Wünschen meiner Freunde ganz nachzukommen und den Einladungen folgen zu können, die mir aus den grossen Städten des Inneren und des Westens gesendet wurden. Aber die Art und Weise der Vorlesungen und das Erforderniss an instrumentalen Hilfsmitteln beanspruchte eine so schwere Arbeit, dass das Verlangen nach Ruhe schon allein ein genügender Grund für den Abschluss meiner Reise war. Ausserdem brachte mir jede Londoner Post Nachricht von Arbeiten, die durch meine Abwesenheit unterbrochen, von Pflichten, deren Erfüllung aufgeschoben worden war.

Die Royal Institution hat einen Ehrensecretär, der die besten Jahre eines thätigen Lebens und die besten Kräfte eines tüchtigen Menschen ihren Interessen gewidmet hat. Und sollte je hier ein ähnliches Institut gegründet werden, so wäre der beste Wunsch, den ich für sein Gedeihen hegen könnte, der, dass sich Männer fänden, die sich demselben mit der gleichen Selbstlosigkeit und mit der gleichen opferfreudigen Liebe widmen möchten, wie die Vorsteher und

Mitglieder der Royal Institution. Niemand hat sich aber dieser Aufgabe unausgesetzter unterzogen, als Dr. Bence Jones. Er indess, auf den ich mich verlassen konnte, liegt jetzt an einer tödtlichen Krankheit darnieder*), und wenngleich auch Andere gern bereit sind, mir auf alle mögliche Weise zu helfen, so giebt es für mich doch nur einen Weg der Pflicht. Ich muss nach Hause. Ich bitte meine Freunde im Inneren und im Westen, diese Fragen in Betracht zu ziehen und nicht zu denken, dass ich für ihre Freundlichkeit unempfindlich bin, sondern dass ich mit gleicher Wärme, wie sie, ihren Wünschen entsprechen möchte, wenn ich nur könnte.

Noch einen anderen hierauf bezüglichen Punkt muss ich erwähnen. Als ich England verliess, war es nicht meine Absicht, diese Vorlesungen zu veröffentlichen, und sie waren, bis auf ein oder zwei Fragmente, gänzlich ungeschrieben, als ich in dieser Stadt ankam. Seit dieser Zeit sind diese Vorlesungen nicht nur in New-York, Brooklyn und New-Haven gehalten, sondern auch niedergeschrieben und publicirt worden. Ohne Zweifel zeigen sie an vielen Stellen Spuren von der Eile, mit der sie abgefasst worden, indess glaubte ich es denen

*) Er starb, für die Institution bis zu seinem Ende thätig, am Sonntag den 20. April 1873, Morgens.

schuldig zu sein, die meine Vorlesungen mit so ausdauernder Aufmerksamkeit anhörten, so wie denen, die sie zu hören wünschten und doch nicht hören konnten, sie ihnen in einer möglichst authentischen Form zu übergeben. Die unausgesetzte Thätigkeit, die diese Arbeit von mir verlangte, raubte mir viele geselligen Freuden; sie verhinderte mich, die Einrichtungen von Instituten kennen zu lernen, die mich lebhaft interessirten, und die lebenswürdige Gastfreundschaft, die mir die Clubs von New-York anboten, anzunehmen. Kurz, sie machte mich zum ungeselligen Menschen. Da ich aber fand, dass gesellige Vergnügungen und schwere Arbeiten mit einander unverträglich wären, so widmete ich alle Kräfte, die ich besass, nicht der Gesellschaft meiner nahen Freunde allein, sondern dem Volke der Vereinigten Staaten.

In der ersten Vorlesung sind die Namen der Herren erwähnt, denen ich zu so grossem Danke für ihre freundliche und oft anstrengende Hülfe verpflichtet bin. Ich könnte die Zahl noch weit mehr ausdehnen, denn in jeder Stadt, die ich berührte, waren willige Helfer stets bereit. Ich darf indess den Namen von Herrn Rhees, Privatsecretär von Professor Henry, nicht unerwähnt lassen, der mich nicht nur in Washington, sondern auch in Boston ganz wesent-

lich unterstützte. Den Vorständen des Cooper Instituts und den Directoren der kaufmännischen Buchhandlung zu Brooklyn bin ich zu Dank verpflichtet. Auch möchte ich einen kurzen aber herzlichen Dank meinem edlen Freund und Verwandten, General Hector Tyndall zurufen für seine langandauernde Sorge für mich und für die wohlthuende Herzlichkeit, mit der er und seine Familie mir und den Eltern meines jüngeren Assistenten den Schmerz erleichterten, welchen wir durch den Tod desselben in Philadelphia tief empfanden.

Endlich muss ich noch mit herzlicher Anerkennung die Geschicklichkeit und treue und selbstlose Hingebung erwähnen, mit der von Anfang bis zu Ende mein erster Assistent, Herr John Cottrell, mich unterstützte.

John Tyndall.

New-York, Februar 1873.

VORREDE

ZUR

ZWEITEN ENGLISCHEN AUSGABE.

Die Veranlassung zu den vorliegenden Vorlesungen habe ich in der Einleitung zu der ersten derselben mitgetheilt und die Ursachen, die mich zu ihrer Veröffentlichung veranlassten, in der Vorrede zur amerikanischen Ausgabe erörtert.

Meine Vorlesungen waren stets von Experimenten begleitet, deren Anblick den Zusammenhang zwischen dem Vorgetragenen vermitteln sollte. In einfachen Worten habe ich mich bemüht, klare Vorstellungen von den Thatsachen zu geben und sie in ihrem inneren Zusammenhang vorzuführen.

So habe ich versucht, die Wellentheorie des Lichtes dem Leser möglichst klar zu machen

und zu zeigen, wie sie die optischen Phänomene zusammenfasst und begründet.

Neuere Schriften über derartige Fragen beweisen, dass der Ursprung, das Ziel und die Beweiskraft der physikalischen Theorien im Allgemeinen für den denkenden Menschen von bedeutendem Interesse sein müssen. Ich habe versucht, in der zweiten und dritten Vorlesung die Ansichten auszusprechen, die ich mir hierüber selbst gebildet habe.

Ein systematisches Lehrbuch der Optik zu schreiben, lag natürlich durchaus nicht in meiner Absicht. Mein Wunsch war vielmehr, in möglichst conciser Form eine Darstellung der Optik zu geben, für die ich selbst während eines Zeitraumes meiner eigenen Studien dankbar gewesen wäre. Vor Allem bemühte ich mich, als Grundbedingung für jeden befriedigenden Fortschritt, dem Leser eine jede Unklarheit in Betreff der fundamentalen Thatfachen und Vorstellungen zu benehmen und den Wunsch nach weiterem Wissen zu erwecken.

Ferner wünschte ich für die grosse Zahl derer, die sich für die materiellen Resultate der Wissenschaft interessiren, die Wirkungen auf ihre Ursachen zurückzuführen, und ihnen zu zeigen, wie solche Resultate nur durch das Nachdenken von Männern ins Leben treten, die

keine materiellen Ziele dabei im Auge haben. Der „Schluss“, der eigentlich auch als Einleitung zu diesen Vorlesungen dienen könnte, behandelt ganz besonders diesen Punkt.

John Tyndall.

Royal Institution, Mai 1875.

VORWORT DES HERAUSGEBERS

Das vorliegende Werk enthält den dritten Cyclus der Vorlesungen, in denen Herr Tyndall nacheinander die verschiedenen Theile der Physik in Wort und Schrift einem weiteren Kreise vorgeführt hat. Nach der Wärme und dem Schall behandelt er nunmehr das Licht. Die dabei zu lösende Aufgabe war um so schwieriger, als die verschiedenen Erscheinungen, deren völlige Begründung fast nur auf mathematischem Wege möglich ist, ohne dieses Hilfsmittel allein durch die logische Aufeinanderfolge zweckmässig gewählter Experimente entwickelt und dem allgemeinen Verständniß zugänglich gemacht werden mussten. Der glänzende Erfolg der in Nordamerika gehaltenen Vorlesungen selbst, so wie der Veröffentlichung derselben in Amerika und

keine materiellen Ziele dabei im Auge haben.
Der „Schluss“, der eigentlich auch als Einleitung
zu diesen Vorlesungen dienen könnte, behandelt
ganz besonders diesen Punkt.

John Tyndall.

Royal Institution, Mai 1875.

VORWORT DES HERAUSGEBERS.

Das vorliegende Werk enthält den dritten Cyclus der Vorlesungen, in denen Herr Tyndall nacheinander die verschiedenen Theile der Physik in Wort und Schrift einem weiteren Kreise vorgeführt hat. Nach der Wärme und dem Schall behandelt er nunmehr das Licht. Die dabei zu lösende Aufgabe war um so schwieriger, als die verschiedenen Erscheinungen, deren völlige Begründung fast nur auf mathematischem Wege möglich ist, ohne dieses Hülfsmittel allein durch die logische Aufeinanderfolge zweckmässig gewählter Experimente entwickelt und dem allgemeinen Verständniss zugänglich gemacht werden mussten. Der glänzende Erfolg der in Nordamerika gehaltenen Vorlesungen selbst, so wie der Veröffentlichung derselben in Amerika und

England legt von vornherein ein Zeugniß dafür ab, wie vortrefflich es Herrn Tyndall gelungen ist, diese Schwierigkeiten zu überwinden.

Ausser der weiteren Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse durch eine, wenn auch durchaus allgemein verständliche und anziehende, so doch im Wesen der Sache streng wissenschaftliche Darstellung bieten die Werke des Herrn Tyndall indess noch ein ganz besonderes „didactisches“ Interesse dar.

Nicht nur von philologischer Seite, sondern auch von der Mehrzahl der Naturforscher wird bei uns mit vollem Recht anerkannt, dass unter den bisher obwaltenden Verhältnissen das Studium der classischen Sprachen besonders geeignet ist, dem jugendlichen Geist die Schärfe des Denkens zu verleihen, welche für eine höhere Geistesarbeit erforderlich ist. Die durch Jahrhunderte erprobte und ausgebildete Methodik des philologischen Unterrichts, die vollendete Durcharbeitung der Grammatik, welche von dem Schüler strenge Entscheidungen verlangt, die nur durch eine scharfe, aber doch innerhalb seiner Befähigung liegende Kritik zu erzielen sind, ermöglichen es, in der Beschäftigung mit den classischen Sprachen eine geistige Gymnastik zu schaffen, welche bisher von keiner anderen übertroffen wird. Dieselbe trägt auch

selbst dann noch für die späteren Jahre, auch bei dem Studium anderer Fächer, ihre Früchte, wenn, wie es bei diesen Erfolgen begreiflich ist, auch wohl einmal die richtige Grenze überschritten und unter Hineinziehung der jeweiligen neuesten Strömungen der Wissenschaft das Unterrichtsgebiet auf ein allzu hohes Niveau gehoben wird, wenn das Mittel zum Zweck wird, und an Stelle einer classischen Bildung durch die philologischen Studien die Ausbildung von Philologen tritt.

Freilich wird hierdurch die Beschäftigung mit denjenigen Wissenschaften allzusehr zurückgedrängt, deren Kenntniss für das Leben selbst unerlässlich ist, deren Resultate die höchsten Fragen der Menschheit berühren, ohne die auch eine erfolgreiche Erkenntniss der Bedingungen des geistigen Lebens ganz unmöglich ist: mit den Naturwissenschaften. So werden die Schüler, welche diese Wissenschaften zu ihrem Lebensberuf wählen wollen, zum allergrössten Schaden für das naturwissenschaftliche Studium selbst mehr und mehr veranlasst, auf die unersetzliche classische Ausbildung im Gymnasium zu verzichten und an anderen Lehranstalten eine mehr fachliche Unterweisung zu suchen. Auch klagt man in Folge dessen nicht mit Unrecht, dass, während man dem Naturforscher von verschiedenen Seiten einen Mangel

an Bildung vorwirft, wenn ihm die classische Erziehung fehlt, dagegen Unwissenheit auf dem naturwissenschaftlichen Gebiete an dem classisch Gebildeten kaum gerügt wird.

So berechtigt diese Erwägungen sind, so ist indess wohl zu bedenken, dass die relativ geringe Verwendung des naturwissenschaftlichen Unterrichts als geistiges Bildungsmittel nicht allein von der Geringschätzung der Bedeutung jener Wissenschaften herrührt. Der Grund liegt vielmehr in der grossen Schwierigkeit, die Ableitung der höchsten Naturgesetze aus den einzelnen Erfahrungen, die deductive Entwicklung der Ursachen der letzteren aus jenen Gesetzen in einem so streng gegliederten System dem Schüler mitzutheilen, dass nicht etwa nur die praktisch werthvollen einzelnen Thatsachen in einem oberflächlichen, die Concentration des Geistes vernichtenden Spiel mit Experimenten vorgeführt, sondern das logische Denken selbst wesentlich geübt und gefördert werde. Ein Blick in viele Lehrbücher, die nicht eben die höheren wissenschaftlichen Ziele verfolgen, lehrt uns, wie wenig in dieser Beziehung — abgesehen etwa von den der Mathematik nahe liegenden mechanischen Theilen der Physik — die Methode des naturwissenschaftlichen Unterrichtes ausgebildet ist.

Herr Tyndall hat nun in seinen letzten Vorlesungen über das Licht, auf deren materielle Erfolge er in edelmüthiger Weise zum Besten junger, in Deutschland studirender Amerikaner verzichtet hat, den Bürgern der Vereinigten Staaten rückhaltslos dargelegt, dass nicht die unmittelbare Anwendung jeder wissenschaftlichen Leistung auf praktische Ziele die Quelle dauernden Nationalwohlstandes sei, sondern die ernste, auf directen Gewinn verzichtende, selbstlose Beschäftigung mit den Naturwissenschaften. Seine sämtlichen Werke können dann weiter trotz ihrer elementaren und populären Form als Versuche angesehen werden, die verschiedenen physikalischen Disciplinen in einer so streng logischen Aufeinanderfolge der einzelnen That-sachen und ihrer Begründung vorzuführen, dass sie dadurch eine hohe didactische, geistesbildende Bedeutung erlangen. Wenn dieser Versuch schon insofern im Einzelnen geglückt sein dürfte, als an vielen Orten von den Darstellungen Tyndall's für Lehrzwecke ein ausgiebiger Gebrauch gemacht wird, so wird er hoffentlich auch für die weitere Ausbildung der Methodik des ganzen naturwissenschaftlichen Unterrichtes von allgemeineren segensreichen Folgen sein. In jedem Falle sind die Bestrebungen des Herrn Tyndall in dieser Beziehung

nicht genug anzuerkennen und zu beachten in einer Zeit, in der die gewaltige Entwicklung und die überwältigende Bedeutung der Naturwissenschaften für das ganze Leben dringend dazu mahnen, auch schon von vornherein in der Erziehung der Jugend auf dieselben gebührend Rücksicht zu nehmen.

Die Uebersetzung ist nach der ersten Auflage des englischen Originals angefertigt worden; derselben sind indess die wesentlichsten Zusätze aus der zweiten englischen Ausgabe beigefügt. In Uebereinstimmung mit Herrn Tyndall sind dagegen diejenigen Nachträge fortgelassen, die nur für den englischen oder amerikanischen Leser ein besonderes Interesse darbieten: eine Polemik zwischen dem späteren Lord Brougham und Young, welche auch in der zweiten englischen Ausgabe nicht wieder abgedruckt ist, sowie verschiedene Reden bei dem Abschied Tyndall's von New-York.

Leipzig, 1. November 1875.

G. Wiedemann.

INHALT.

Erste Vorlesung.

Einleitung. — Nutzen des Experiments. — Frühere wissenschaftliche Anschauungen. — Beobachtende Wissenschaften. — Kenntniss des Lichts im Alterthum. — Die Natur ist vom theoretischen Standpunkt aus mangelhaft. — Fehler des Auges. — Unsere Instrumente. — Geradlinige Fortpflanzung des Lichts. — Das Gesetz des Einfalls und der Reflexion. — Unfruchtbarkeit des Mittelalters. — Brechung. — Snell's Entdeckung. — Theilweise und totale Reflexion. — Geschwindigkeit des Lichts. — Römer, Bradley, Foucault und Fizeau. — Princip der kleinsten Wirkung. — Descartes und der Regenbogen. — Newton's Versuche über die Zusammensetzung des Sonnenlichts. — Sein Irrthum hinsichtlich des Achromatismus. — Synthese des weissen Lichts. — Gelbes und blaues Licht erzeugen weisses durch ihre Vermischung. — Farben der natürlichen Körper. — Absorption. — Mischung von Farbstoffen im Gegensatz zu der Mischung von verschieden gefärbtem Licht Seite 1—46.

Zweite Vorlesung.

Entstehung physikalischer Theorien. — Wirkung des Vorstellungsvermögens. — Newton und die Emissionstheorie. — Prüfung physikalischer Theorien. — Der Lichtäther. — Wellentheorie des Lichtes. — Thomas Young. — Fresnel und Arago. —

Begriff der Wellenbewegung. — Interferenz von Wellen. — Zusammensetzung der Schallwellen. — Analogieen zwischen Schall und Licht. — Beispiele der Wellenbewegung. — Interferenz von Schallwellen. — Optische Darstellungen. — Tonhöhe und Farbe. — Wellenlängen des Lichtes und Schwingungsdauern der Aethertheilchen. — Interferenz des Lichtes. — Erscheinungen, die zuerst auf die Undulationstheorie [führten. — Boyle und Hooke. — Die Farben dünner Blättchen. — Die Seifenblase. — Newton'sche Ringe. — Theorie der „Anwandlungen“. — Die Erklärung der Ringe daraus. — Beseitigung dieser Theorie. — Diffraction des Lichtes. — Farben durch Diffraction erzeugt. — Farben der Perlmutter.

Seite 47—103.

Dritte Vorlesung.

Beziehung zwischen Theorie und Erfahrung. — Entstehung des Begriffes der Anziehung bei der Gravitation. — Begriff der Polarität, seine Entstehung. — Polarität der Atome. — Die Structur rührt von der Polarität her. — Bau der Krystalle, betrachtet als Einleitung zum Studium ihrer Wirkung auf das Licht. — Begriff der Polarität der Atome in Bezug auf die Krystallstructur. — Versuche dazu. — Krystallisation des Wassers. — Ausdehnung durch Wärme und Kalte. — Das Verhalten des Wassers betrachtet und erklärt. — Einfluss der Krystallisation auf optische Erscheinungen. — Brechung. — Doppelbrechung. — Polarisation. — Wirkung des Turmalins. — Eigenschaften der aus dem Kalkspath austretenden Strahlen. — Polarisation bei gewöhnlicher Reflexion und Brechung. — Depolarisation.

Seite 105—134.

Vierte Vorlesung.

Farbenerscheinungen durch Krystalle im polarisirten Licht. — Das Nicol'sche Prisma. — Polarisirendes und analysirendes Prisma. — Wirkung dicker und dünner Gypsplatten. — Farben, abhängig von der Dicke. — Zerlegung des polarisirten Strahles in zwei andere durch den Gyps. — Der eine mehr verzögert, als der andere. — Wiedervereinigung der beiden Wellensysteme durch das analysirende Prisma. — Die Interferenz auf diese Art ermöglicht. — Dem entsprechende Erzeugung von Farben. — Wirkung von mechanisch gedehnten oder gepressten Körpern. — Wirkung von Tonschwingungen. — Wirkung von durch Wärme gedehntem oder gepresstem Glas. — Circular-

polarisation. — Farbenerscheinungen durch Quarz erzeugt. — Die Einwirkung des Magnetismus auf das Licht. — Ringe um die Axen der Krystalle. — Zweiaxige und einaxige Krystalle. — Uebersicht der Undulationstheorie. — Die Farbe und Polarisation des Himmelslichtes. — Erzeugung von künstlichen Himmeln. Seite 135—176.

Fünfte Vorlesung.

Das Auge kann nicht alle Strahlen sehen. — Die ultravioletten Strahlen. — Fluorescenz. — Unsichtbare Strahlen sichtbar zu machen. — Das Sehen nicht der einzige Sinn, den der Sonnen- und der elektrische Strahl erregt. — Wärme des Strahles. — Verbrennung durch den ganzen Strahl im Brennpunkt der Spiegel und Linsen. — Verbrennung durch Eislinen. — Entzündung des Diamanten. — Aufsuchung der hier wirksamen Strahlen. — Sir William Herschel's Entdeckung der dunkeln Sonnenstrahlen. — Die unsichtbaren Strahlen die Basis der sichtbaren. — Trennung der unsichtbaren Strahlen von den sichtbaren durch ein Strahlenfiltrum. — Verbrennung im dunkeln Brennpunkte. — Verwandlung von Wärmestrahlen in Lichtstrahlen. — Calorescenz. — Die Rolle der dunkelen Strahlen in der Natur. — Identität des Lichtes und der strahlenden Wärme. — Unsichtbare Bilder. — Reflexion, Brechung, lineare Polarisation, Depolarisation, kreisförmige Polarisation, doppelte Brechung und Magnetisirung der strahlenden Wärme Seite 177—206.

Sechste Vorlesung.

Principien der Spectralanalyse. — Analyse des Lichtes weissglühender Dämpfe durch das Prisma. — Discontinuirliche Spectra. — Die Streifen im Spectrum sind nach Bunsen und Kirchhoff für die Dämpfe charakteristisch. — Entdeckung des Rubidiums, Cäsiums und Thalliums. — Beziehungen zwischen Emission und Absorption. — Die Fraunhofer'schen Linien. — Ihre Erklärung durch Kirchhoff. — Die Chemie der Sonne. — Versuch von Foucault. — Principien der Absorption. — Analogie von Schall und Licht. — Experimenteller Nachweis dieser Analogie. — Neuere Anwendungen des Spectroskops Seite 207—225.
 Uebersicht und Schluss Seite 226—247.
 Anhang Seite 248—261.

DAS LICHT.

Erste Vorlesung.

Einleitung. — Nutzen des Experiments. — Frühere wissenschaftliche Anschauungen. — Beobachtende Wissenschaften. — Kenntniss des Lichts im Alterthum. — Die Natur ist vom theoretischen Standpunkt aus mangelhaft. — Fehler des Auges. — Unsere Instrumente. — Geradlinige Fortpflanzung des Lichts. — Das Gesetz des Einfalls und der Reflexion. — Unfruchtbarkeit des Mittelalters. — Brechung. — Snell's Entdeckung. — Theilweise und totale Reflexion. — Geschwindigkeit des Lichts. — Römer, Bradley, Foucault und Fizeau. — Princip der kleinsten Wirkung. — Descartes und der Regenbogen. — Newton's Versuche über die Zusammensetzung des Sonnenlichts. — Sein Irrthum hinsichtlich des Achromatismus. — Synthese des weissen Lichts. — Gelbes und blaues Licht erzeugen weisses durch ihre Vermischung. — Farben der natürlichen Körper. — Absorption. — Mischung von Farbstoffen im Gegensatz zu der Mischung von verschieden gefärbtem Licht.

Vor etwa zwölf Jahren veröffentlichte ich in England ein kleines Buch: „Die Gletscher der Alpen,“ und einige Jahre später einen zweiten Band: „Die Wärme als eine Art der Bewegung betrachtet.“ Diesen Büchern folgten andere, die eben so anspruchslos geschrieben waren und

den gleichen Zweck verfolgten, die Wechselbeziehungen zwischen der Wissenschaft und der übrigen Welt zu erweitern und zu vertiefen. Ich stimmte mit vielen denkenden Männern¹⁾ darin überein, dass es für keines der beiden Gebiete des menschlichen Schaffens förderlich wäre, wenn es dem andern fremd oder gar feindlich gegenüberstände. Um nun wenigstens für einen Theil der Wissenschaft diese Isolirung möglichst zu beseitigen, verzichtete ich für einige Zeit auf die selbstständigen Forschungen, die früher das Streben und die Freude meines Lebens ausmachten.

Die hier erwähnten Bücher wurden zum grössten Theil von Herrn Appleton in New-York für Nordamerika herausgegeben und zwar unter dem Schutz eines Mannes, der mit unermüdlichem Eifer gründliche wissenschaftliche Kenntnisse unter den Bewohnern der Vereinigten Staaten zu verbreiten sucht; dessen Energie, Geschicklichkeit und Anspruchslosigkeit in dem Verfolgen einer schwierigen Aufgabe ihm die Sympathie und die Unterstützung vieler von uns aus „dem Mutterland“ gewonnen haben. Ich meine Professor Youmans. Ebenso schnell, wie in England, wurde in den Vereinigten Staaten der Zweck und das Ziel dieser Bücher verstanden und gewürdigt, und sie brachten mir unzählige Beweise der Anerkennung von dieser Seite des Atlantischen Oceans. Ich erhielt Jahr auf Jahr Einladungen, Amerika zu besuchen²⁾. Das letzte Jahr wurde ich durch eine besonders lebenswürdige Aufforderung beehrt. Sie war von fünfundzwanzig Namen unterschrieben, die alle so berühmt in der Wissenschaft,

¹⁾ Unter welchen ich besonders den verstorbenen Sir Edmund Head, Bar., nennen will, mit dem ich oft diesen Punkt besprochen habe.

²⁾ Eine der ersten erhielt ich von Mr. John Amory Lowell von Boston.

Literatur und in der Politik sind, dass ich mich sogleich entschloss, ihr zu folgen und nicht nur den bedenklichen Schwankungen des Atlantischen Oceans Trotz zu bieten, sondern auch der weit bedenklichern Feuerprobe, persönlich vor den Bewohnern der Vereinigten Staaten zu erscheinen.

Diese Einladung, die mir durch meinen vortrefflichen Freund Professor Lesley von Philadelphia überbracht wurde, und der ein Brief desselben Inhalts von Ihrem wissenschaftlichen Nestor, dem berühmten Joseph Henry von Washington, vorangegangen war, sprach den Wunsch aus, dass ich in einigen der bedeutendsten Städte der Vereinigten Staaten Vorlesungen halten möchte. Ich versprach es, obgleich ich über den geeigneten Gegenstand noch sehr im Unklaren war. Als Antwort auf meine Fragen deutete man mir indessen an, dass eine Reihe von Vorlesungen, die den Nutzen des Experiments für die Förderung der Naturwissenschaften darlegen würde, die wissenschaftliche Bildung in diesem Lande bedeutend fördern könnte. Und obgleich solche Vorlesungen die Herstellung von schweren und empfindlichen Instrumenten und ihre Fortschaffung von Ort zu Ort bedingten, so entschloss ich mich doch sogleich, dem Wunsch meiner Freunde nachzukommen, so weit es die Zeit und die zu meiner Verfügung stehenden Mittel erlauben würden.

Die Experimente haben in doppelter Beziehung einen grossen Nutzen — einmal als Hülfsmittel zur Entdeckung und Bestätigung und dann als Lehrmittel. Vor langer Zeit hat man sie als die Fragen des Naturforschers an die Natur bezeichnet, auf die sie verständliche Antworten gäben. Diese Antworten werden indess gewöhnlich dem Fragen den so leise zugeflüstert, dass sie den Ohren des grossen Publicums unverständlich sind. Dem Entdecker folgt aber der Lehrer, dessen Arbeit es dann ist, die Versuche seines

Vorgängers so zu läutern und abzuändern, dass sie für allgemeine Darstellung geeignet werden. Ich werde mich bemühen, in dem vorliegenden Falle diese secundäre Arbeit durchzuführen.

Ich habe mir vorgenommen, ein einzelnes Gebiet der Naturwissenschaft auszuwählen, und an ihm mit Hülfe des Experiments das Wachsen der wissenschaftlichen Erkenntniss zu erläutern. Ich wünsche, Sie in dieser ersten Vorlesung mit gewissen elementaren Erscheinungen bekannt zu machen; dann Ihnen zu zeigen, wie die theoretischen Grundsätze, durch welche die Erscheinungen erklärt werden, in dem menschlichen Geiste Wurzel fassen und sich ausbilden, und zuletzt diese Grundsätze auf die ganze Fülle des Wissens anwenden, welche diese Vorlesungen enthalten. Die Wissenschaft der Optik lässt sich in dieser Weise behandeln, und aus ihr will ich die Materialien für meinen jetzigen Zweck entnehmen. Am zweckmässigsten fangen wir mit den wenigen einzelnen Thatsachen an, welche die Alten in Betreff des Lichtes kannten, und gehen von ihnen in historischer Steigerung zu den schwierigeren Entdeckungen der Neuzeit über.

Alle unsere Ansichten von der Natur, so erhaben oder so grotesk sie auch sein mögen, haben immer einige Begründung in der Erfahrung. Die Ansicht von persönlichem Willen in der Natur beruht auf dieser Grundlage. Der Wilde sah in dem Sturm und in dem Frieden der Naturerscheinungen das Abbild seiner eigenen wechselnden Launen und schrieb deshalb diese Erscheinungen Wesen zu, welche die gleichen Leidenschaften mit ihm theilten, aber an Macht ihn weit übertrafen. So lag die Ansicht des Causalzusammenhangs — der Annahme, dass nichts in der Natur aus sich selbst entstände, sondern ungesehene Antecedentien hätte — selbst tief in der Seele des Wilden

bei seiner Auslegung der Naturerscheinungen. Aus diesem Grundzuge des menschlichen Geistes, die Antecedentien der Erscheinungen zu suchen, ist alle Wissenschaft entsprungen.

Wir wollen nicht bis zu den ersten geistigen Tastversuchen des Menschen zurückgehen; noch weniger wollen wir uns auf die dornenvolle Untersuchung einlassen, wie der herumtastende Mensch sich entwickelte. Wir wollen ihn auf einer gewissen Stufe seiner Bildung annehmen, als er, durch allmähliche oder plötzliche Begabung den ganzen Apparat des Denkens und die Fähigkeit, ihn zu benutzen, erhielt. Für eine Zeit — und zwar historisch für eine lange Zeit — war er nur auf die Beobachtung angewiesen, er nahm an, was die Natur ihm bot, und beschränkte seine geistige Thätigkeit allein darauf. Die scheinbaren Bewegungen der Sonne und der Sterne regten den Verstand zuerst zu Fragen an, und so ward demzufolge die Astronomie die zuerst entwickelte Wissenschaft. Langsamer und sehr viel schwieriger fasste der Begriff von Naturkräften Wurzel im menschlichen Geist.

Ich muss bemerken, dass ein solcher Begriff niemals plötzlich entstanden ist. Der Keim dieses Begriffs war die directe Beobachtung von elektrischen und magnetischen Anziehungen und Abstossungen. Die Wissenschaft der mechanischen Vorgänge musste sich langsam und mit vielen Schwierigkeiten aus diesen Beobachtungen entwickeln; und erst allmählich gelangte man endlich zur vollen Anwendung der mechanischen Principien auf die Bewegungen der himmlischen Körper. Wir verfolgen diesen Fortschritt der Astronomie durch Hipparch und Ptolemäus; und nach langer Pause durch Copernikus, Galiläi, Tycho de Brahe und Kepler; während auf dem Hochplateau des Gedankens, das diese Männer auf-

gebaut haben, Newton wie ein Gipfel aufsteigt, alle Uebrigen von seiner beherrschenden Höhe übersehend.

Es zogen aber noch andere Gegenstände, als die Bewegungen der Sterne, die Aufmerksamkeit der alten Welt auf sich. Das Licht war eine vertraute Erscheinung, und von den frühesten Zeiten an finden wir den Geist der Menschen damit beschäftigt, es sich irgendwie zu erklären. Ohne das Experiment, das erst einer späteren Stufe der wissenschaftlichen Entwicklung angehörte, konnte indess nur ein geringer Fortschritt darin erreicht werden. Daher waren die Alten weit weniger glücklich in ihren Erfolgen, als sie sich mit dem Licht beschäftigten, als wo sie es mit den Bewegungen der Sonne und der Sterne zu thun hatten. Und doch machten sie Fortschritte. Sie überzeugten sich, dass sich das Licht in geraden Linien bewegt; sie wussten auch, dass das Licht von polirten Oberflächen reflectirt wird, und dass der Einfallswinkel der Strahlen des Lichtes gleich dem Reflexionswinkel ist. Diese beiden Resultate der alten wissenschaftlichen Wissbegierde bilden den Ausgangspunkt unserer jetzigen Vorlesungen.

Doch wird es gut sein, zuerst einige Worte über die Lichtquelle zu sagen, die wir bei unseren Versuchen anwenden wollen. Das Rosten des Eisens entspricht ganz vollständig dem langsamen Verbrennen des Eisens. Es entwickelt Wärme, und wird die Wärme zusammengehalten, so kann auf diese Weise eine hohe Temperatur erzielt werden. Wahrscheinlich rührte die Zerstörung des ersten atlantischen Kabels von der so entwickelten Wärme her. Andere Metalle sind noch leichter brennbar als Eisen. Sie können Zinkstreifen an einer Kerzenflamme anstecken und sie fast wie Papierstreifen verbrennen lassen. Doch müssen wir jetzt unsere Definition von Verbrennung er-

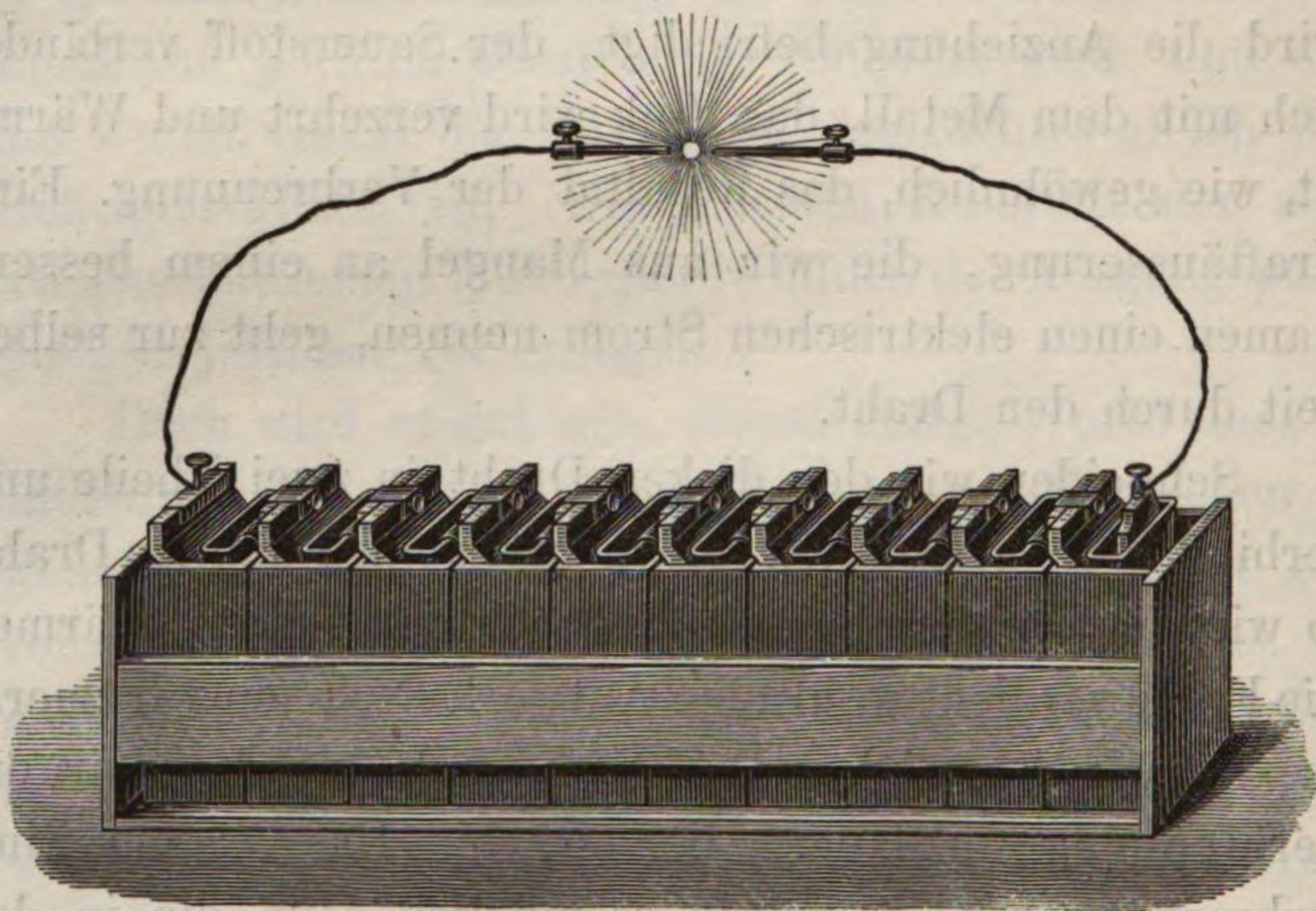
weitern, da wir mit diesem Ausdruck nicht nur Verbrennung in der Luft, sondern auch Verbrennung in Flüssigkeiten bezeichnen. So enthält z. B. Wasser einen Vorrath von Sauerstoff, der sich mit einem hineingetauchten Metall verbinden und es verzehren kann; von diesem Verbrennungsprocess müssen wir das Licht und die Wärme entnehmen, die wir hier jetzt benutzen.

Die Erzeugung dieses Lichts und dieser Wärme verdient einen Augenblick unsere Aufmerksamkeit. Vor Ihnen steht ein Instrument — eine kleine Volta'sche Batterie —, in der Zink in eine geeignete Flüssigkeit getaucht worden ist. Es wird in diesem Augenblick zwar schon eine Anziehungskraft zwischen dem Metall und dem Sauerstoff der Flüssigkeit ausgeübt, die eigentliche Verbindung wird indess für jetzt noch verhindert. Verbinden wir die beiden Enden der Batterie durch einen dicken Draht, so wird die Anziehung befriedigt, der Sauerstoff verbindet sich mit dem Metall, das Zink wird verzehrt und Wärme ist, wie gewöhnlich, das Resultat der Verbrennung. Eine Kraftäusserung, die wir aus Mangel an einem bessern Namen einen elektrischen Strom nennen, geht zur selben Zeit durch den Draht.

Schneiden wir den dicken Draht in zwei Theile und verbinden die getrennten Enden durch einen dünnen Draht, so wird er weissglühend. Woher kommt diese Wärme? Die Frage verdient wohl eine Antwort. Nehmen wir zuerst an, als wir den dicken Draht anwendeten, dass wir die Verbrennung fort dauern liessen, bis 100 Gramm Zink verbrannt waren, so würde es möglich sein, die in der Batterie erzeugte Wärmemenge numerisch genau anzugeben. Wir lassen, während der dünne Draht glüht, die Verbrennung andauern, bis wiederum 100 Gramm Zink verbrannt sind. Wird die Wärmemenge, die in der

Batterie erzeugt worden ist, dieselbe sein wie vorher? Nein, sie wird genau um so viel weniger betragen, als in dem dünnen Draht ausserhalb der Batterie erzeugt worden ist. In der That erhalten wir, wenn wir die innere Wärme zur äussern zurechnen, für die Verbrennung von 100 Gramm Zink eine Summe, die stets unveränderlich bleibt. Wir haben hier ein sehr schönes Beispiel vom Gesetz der Beständigkeit der Energie in der Natur, dessen Feststellung eines der grössten Verdienste der modernen Naturwissenschaft ist. Wir vermögen also durch diese Vorrichtung unser Zink an der einen Stelle zu verbrennen und die Wirkung seiner Verbrennung an einer entfernten Stelle zu zeigen. In New-York könnten wir z. B. unsern Feuerrost und unsern Brennstoff haben, die Wärme aber und das Licht unsers Feuers könnten wir in San Francisco hervortreten lassen.

Fig. 1.



Wenn wir den dünnen Draht entfernen und an den getrennten Enden des dicken zwei Kohlenspitzen befestigen, so erhalten wir beim Zusammenbringen der Spitzen (wie in Fig. 1) einen kleinen Lichtstern. Das Licht, das

wir in unseren Vorlesungen benutzen wollen, ist eine einfache Vergrößerung dieses Sternes. Statt ihn durch zehn Elemente zu erzeugen, wenden wir deren fünfzig an. Stellen wir den Apparat in eine entsprechende Kammer und versehen sie mit entsprechenden Linsen, so wird uns diese mächtige Quelle alles Licht geben, dessen wir für unsere Versuche bedürfen.

Ich kann nicht umhin, hier an den allgemein verbreiteten Irrthum zu erinnern, dass die Werke der Natur, das menschliche Auge mit eingeschlossen, theoretisch vollkommen seien. Das Auge reift seit Jahrhunderten der Vollkommenheit entgegen, aber es kann noch Jahrhunderte zur Vervollkommnung vor sich haben. Blicke ich nach dem strahlenden Licht unserer grossen Batterie, so sehe ich eine leuchtende Kugel, kann aber gar nichts von den Kohlen spitzen bemerken, von denen das Licht ausströmt. Die Ursache können wir uns folgendermaassen erklären: Ein Bild der Kohlen spitzen wird auf den Schirm vor Ihnen geworfen, während die ganze Fläche der Linsen vorn in der Camera zur Herstellung des Bildes verwendet wird. Es ist nicht scharf, sondern von einem Hof umgeben, der die Kohlen fast verdeckt. Es kommt dies von der Unvollkommenheit der Linsen, welche man sphärische Abweichung genannt hat und die davon herrührt, dass die Randstrahlen und centralen Strahlen nicht denselben Brennpunkt haben. Das menschliche Auge leidet an einem ähnlichen Mangel, und aus diesen und ähnlichen Gründen genügt, wenn man das Licht der fünfzig Elemente direct anblickt, der Lichtschein auf der Retina, um die Schärfe des Bildes der Kohlen spitzen daselbst zu vernichten. Man könnte eine lange Reihe von Anklagen gegen das Auge erheben — seine Trübung, seinen Mangel an Symmetrie und Achromasie und seine partielle voll-

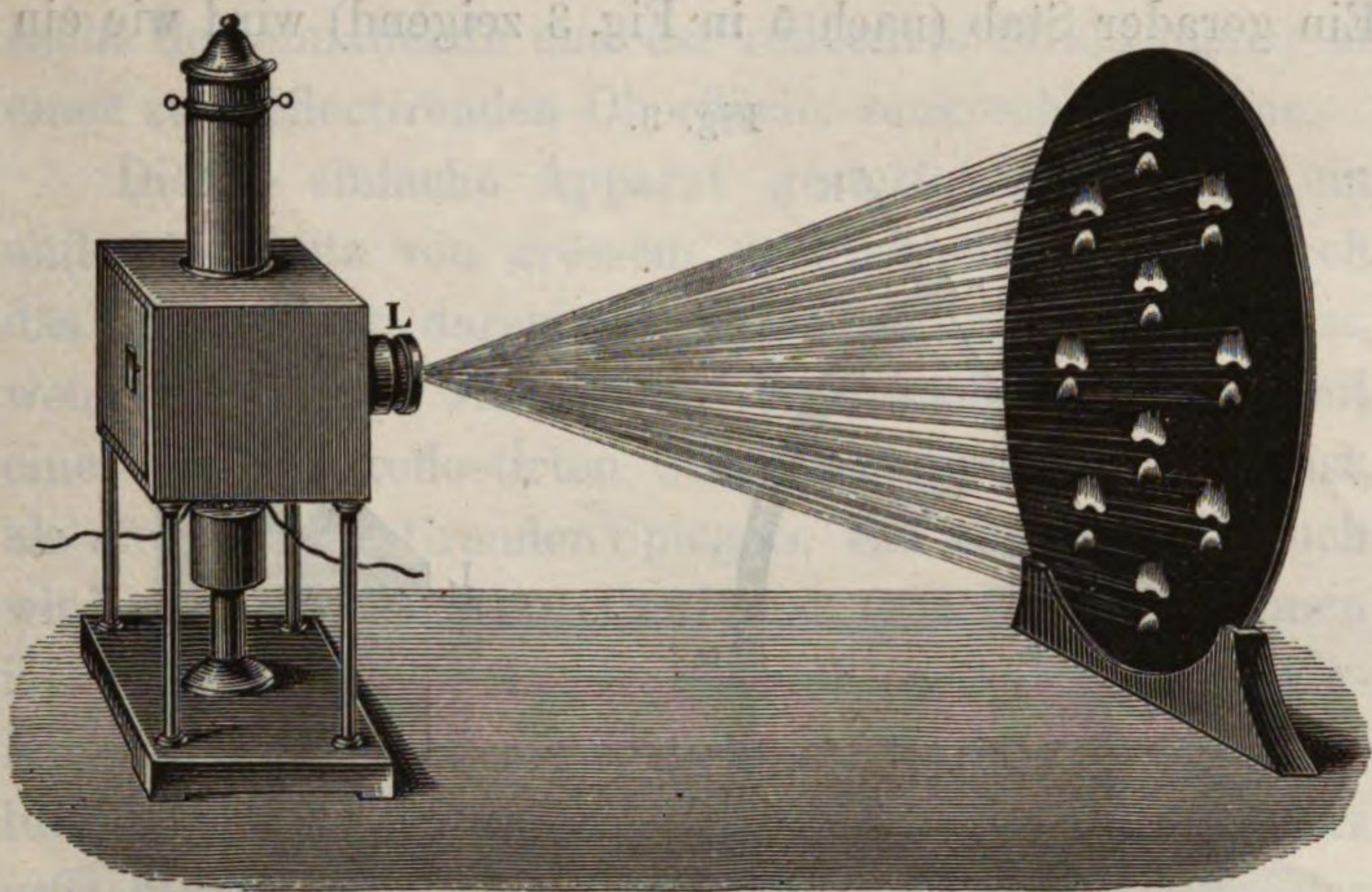
kommene Blindheit. Dieses Alles zusammen genommen bewog Helmholtz zu der Aeusserung, dass, wenn ihm irgend ein Mechanikus ein so fehlerhaftes Instrument übersendete, er berechtigt sein würde, es ihm mit dem ernstesten Tadel zurückzusenden. Doch dürfen wir das Auge nicht vom theoretischen Standpunkt aus beurtheilen. Es ist zwar nicht vollkommen, aber, wie ich erwähnte, auf dem Wege zur Vollkommenheit. Nimmt man die Einrichtungen, durch welche seine Mängel neutralisirt werden, mit in Rechnung, so wird es als praktisches Instrument immer ein Wunder für den denkenden Geist bleiben.

Die Alten kannten also die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes. Sie wussten, dass ein undurchsichtiger Körper, der zwischen das Auge und einen Lichtpunkt gebracht wird, das Licht des Punktes auffängt. Möglicher Weise ist der Ausdruck „Lichtstrahl“ jenen geraden Lichtstreifen entnommen worden, die bei gewissen Zuständen der Atmosphäre von der Sonne bei ihrem Auf- und Niedergang ausstrahlen. Im eigenen Hause kann man die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes beobachten, wenn man das Sonnenlicht durch eine kleine Oeffnung in dem Fensterladen in ein dunkles Zimmer einfallen lässt, in dem man etwas Rauch verbreitet hat. In klarer Luft können Sie den Strahl nicht sehen, aber im Rauch können Sie es, denn das Licht, das ungesehen durch die Luft geht, wird durch die Rauchtheilchen, zwischen denen der Strahl seinen geraden Weg verfolgt, zerstreut und enthüllt.

Oder machen Sie es so: Bohren Sie ein kleines Loch in einen Fensterladen, vor dem ein Haus oder ein Baum steht, und stellen Sie in das verdunkelte Zimmer einen weissen Schirm in einiger Entfernung von der Oeffnung auf. Jeder gerade Strahl, der vom Hause oder vom Baum kommt, verzeichnet seine Farbe auf dem

Schirm; die Summe aller Strahlen muss also das Bild des Gegenstandes sein. Da aber die Strahlen sich in der Oeffnung kreuzen, so wird das Bild umgekehrt. Hier können wir diese Thatsache in folgender Art veranschaulichen: Vorn in unserer Camera ist eine grosse Oeffnung, *L*, Fig. 2, von der die Linsen fortgenommen sind und die jetzt durch ein Blatt Stanniol geschlossen wird. Stechen wir

Fig. 2.

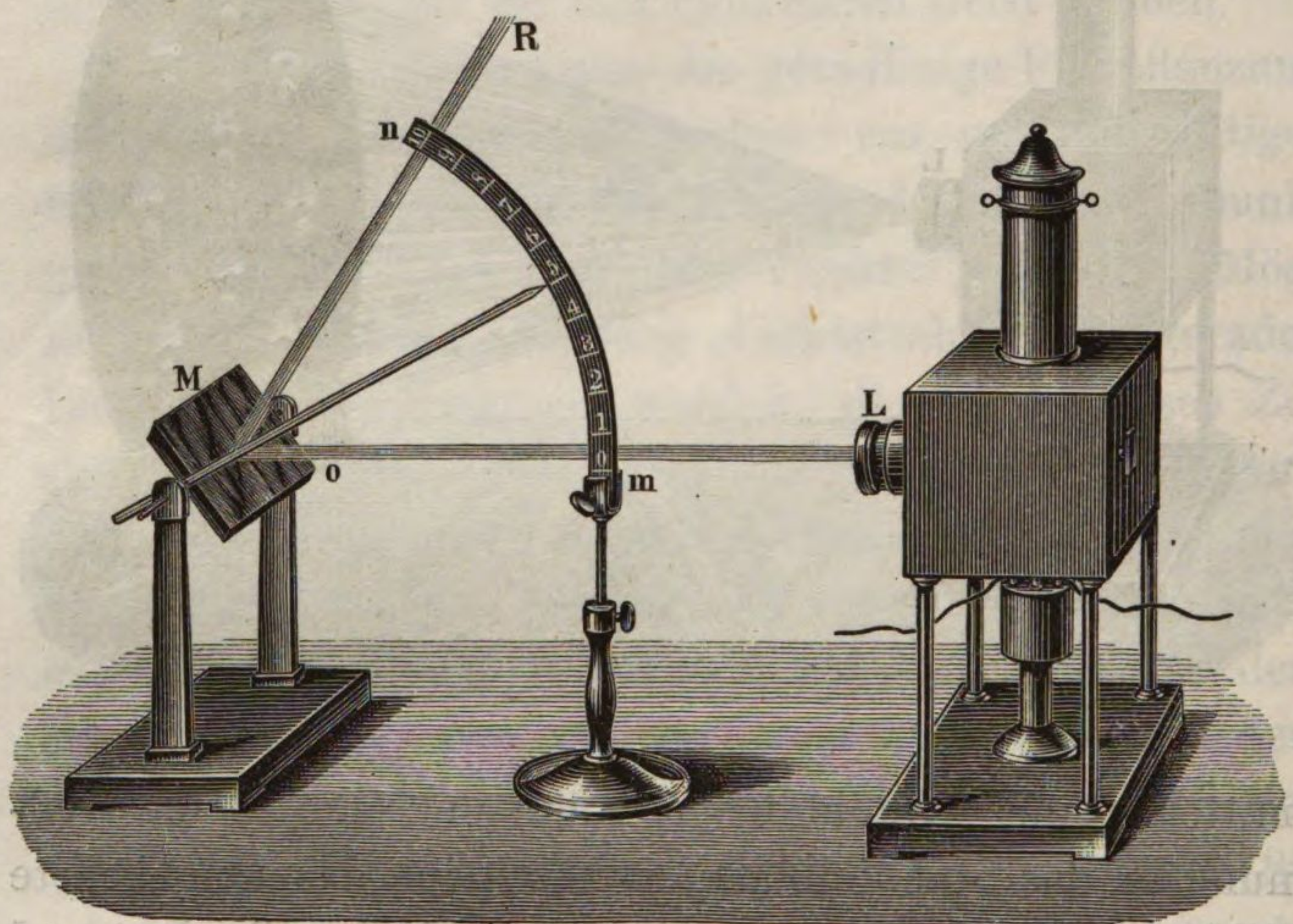


mittelt einer gewöhnlichen Nähnadel eine kleine Oeffnung in das Stanniolblatt, so erscheint das umgekehrte Bild der Kohlenspitzen auf dem Schirm. Ein Dutzend Oeffnungen geben ein Dutzend Bilder, hundert geben hundert, tausend geben tausend Bilder. Wie aber die Oeffnungen einander näher und näher kommen, d. h. wie das Stanniol zwischen den Oeffnungen mehr und mehr verschwindet, so decken sich die Bilder immer mehr und mehr. Nehmen wir das Stanniol ganz fort, so wird der Schirm gleichmässig beleuchtet. So kann man das Licht auf dem Schirm als eine Uebereinanderlagerung von un-

zähligen Bildern der Kohlenspitzen ansehen. Ebenso kann man das Licht auf jeder weissen Wand an einem wolkenlosen Tage als eine Folge der Uebereinanderlagerung von unzähligen Bildern der Sonne ansehen.

Das Gesetz, dass der Einfallswinkel gleich dem Reflexionswinkel ist, steht mit einer später zu erwähnenden Theorie in Beziehung, und deshalb scheint ein einfacher experimenteller Beweis des Gesetzes hier am Ort zu sein. Ein gerader Stab (nach 5 in Fig. 3 zeigend) wird wie ein

Fig. 3.



Zeiger senkrecht zu einem kleinen drehbaren Spiegel (*M*) gestellt. Ein Lichtstrahl wird zuerst auf den Spiegel geleitet und in seiner eigenen Richtung zurückgeworfen. Obgleich die einfallenden und reflectirten Strahlen in entgegengesetzter Richtung gehen, so verschieben oder stören sie sich nicht. Dreht man den Zeiger, so dreht sich der Spiegel mit ihm, und man sieht an beiden Seiten des Zeigers den einfallenden und den reflectirten Strahl

(Lo, oR), die sich auf dem Staub des Zimmers abzeichnen. Es genügt die unmittelbare Anschauung der beiden Winkel zwischen dem Zeiger und den beiden Strahlen, um sich von ihrer Gleichheit zu überzeugen. Kleine elastische Kugeln, die man gegen den Spiegel werfen würde, würden der Bahn des reflectirten Lichtes folgen. Man sagt, dass eine Karte, die mit ihrer Kante so auf einen Tisch gestellt wird, dass sie sich weder zur Rechten noch zur Linken neigt, senkrecht auf der Ebene des Tisches steht. So liegt beim Licht der einfallende und der reflectirte Strahl immer in einer zur reflectirenden Oberfläche senkrechten Ebene.

Dieser einfache Apparat gestattet uns, noch ein anderes Gesetz von grossem praktischem Werth durch das Experiment darzulegen, nämlich zu zeigen, dass, wenn ein Spiegel sich dreht, die Winkelgeschwindigkeit eines von ihm reflectirten Strahles doppelt so gross ist, als die des reflectirenden Spiegels. Ein einfacher Versuch wird es Ihnen beweisen. Der Bogen (mn , Fig. 3) vor Ihnen ist in zehn gleiche Theile getheilt, und wenn der einfallende Strahl und der Zeiger den Nullpunkt der Theilung treffen, so ist sowohl der einfallende, wie auch der reflectirte Strahl horizontal. Wenn wir den Zeiger des Spiegels nach 1 bewegen, so schneidet der reflectirte Strahl den Bogen bei 2; bewegen wir den Zeiger nach 2, so wird der Bogen bei 4 geschnitten; bewegen wir den Zeiger nach 3, so wird der Bogen bei 6 geschnitten; bewegen wir den Zeiger nach 4, so wird der Bogen bei 8 geschnitten; und bewegen wir endlich den Zeiger nach 5, so wird der Bogen bei 10 (wie auf unserer Figur) geschnitten. Jedes Mal bewegt sich der reflectirte Strahl durch den doppelten Winkel, wie der Spiegel.

Es ist eine der Aufgaben der Wissenschaft, auf denen hauptsächlich der Fortschritt in derselben beruht, den

Sinnen der Menschen nachzuhelfen und sie in Regionen zu führen, die sie ohne diese Hülfe nie erreichen könnten. So bewaffnen wir das Auge mit dem Teleskop, wenn wir die weitesten Fernen des Raumes ergründen wollen, und mit dem Mikroskop, wenn wir die Bewegung und die Structur bis in die kleinsten Verhältnisse verfolgen wollen. Nun giebt uns dieses Gesetz der Winkelreflexion, verbunden mit der Thatsache, dass das Licht kein Gewicht hat, die Mittel, kleine Bewegungen in ungewöhnlichem Maasse zu vergrössern. So konnte Gauss, als er Spiegel an seine aufgehängten Magnete befestigte und die durch die Spiegel reflectirten Bilder von getheilten Scalen beobachtete, die geringste Spur einer Veränderung der Richtung der erdmagnetischen Kraft entdecken. Durch eine ähnliche Anordnung konnten auch die schwachen Anziehungen und Abstossungen der diamagnetischen Kraft bemerkbar gemacht werden. Die kleinste Ausdehnung eines Metallstabes durch die Wärme der Hand kann durch diese Methode so vergrössert werden, dass sich der anzeigende Strahl von der Decke bis zum Boden dieses Zimmers bewegt. Man kann so auch die Verlängerung eines Eisenstabes durch die Magnetisirung nachweisen. Schon vor langer Zeit hat Helmholtz diese Methode angewendet, um seinen Zuhörern die classischen Experimente von du Bois Reymond über thierische Elektricität zu zeigen. Auch in dem Reflexionsgalvanometer von Sir William Thomson findet das Princip eine seiner neuesten Anwendungen.

Länger als tausend Jahre wurde in der Optik kein Schritt über dieses Gesetz der Reflexion hinaus gethan.

Die Männer des Mittelalters bemühten sich auf der einen Seite, die Gesetze des Weltalls a priori aus ihrem eigenen Bewusstsein zu entwickeln, während andererseits viele von ihnen so mit den Betrachtungen einer zukünftigen Welt beschäftigt waren, dass sie mit hoher Verachtung auf alle Dinge herabsahen, die dieser Welt angehörten. Eusebius sagt, als er von den Naturforschern seiner Zeit spricht: „Nicht aus Unkenntniss der Dinge, die sie bewundern, sondern aus Verachtung ihrer nutzlosen Arbeit denken wir gering von diesen Gegenständen und wenden unsere Seelen zu der Beschäftigung mit besseren Dingen.“ So sagt auch Lactantius: „Nach der Ursache der Dinge zu suchen; zu fragen, ob die Sonne so gross sei, wie sie scheint; ob der Mond convex oder concav sei; ob die Sterne am Himmel feststehen oder frei in der Luft schweben; von welcher Gestalt und aus welchem Stoff der Himmel sei; ob er in Ruhe oder in Bewegung; welches die Grösse der Erde; auf welchem Grunde sie schwebe oder hänge; — über solche Fragen zu streiten und Vermuthungen aufzustellen, ist gerade, als ob wir daran dächten, darüber zu verhandeln, was wir von einer Stadt in einer fernen Gegend denken, von der wir nur den Namen gehört haben“ ¹⁾.

¹⁾ Diesen Geist der alten Glaubenshelden kann man auch jetzt noch finden, wo man es kaum vermuthen sollte. In der Aprilnummer der *Comtemporary Review*, legt mein Freund Dr. Acland, nachdem er beschrieben hat, wie die moderne Wissenschaft auf ihren gegenwärtigen Standpunkt gekommen ist, dem Bischof Wilson folgende Worte in den Mund: „Was mich überrascht, ist die Mühe, die Sie sich gegeben haben, um so wenig zu erreichen. Sie verdienen dafür die grösstmögliche Anerkennung, die ein vernünftiges Wesen wünschen kann; denn Sie, der Sie so exact und so unermüdlich sind, scheinen sich der Ungewissheit vieler Ihrer Data wohl bewusst zu sein, und daher auch der möglichen Unsicherheit

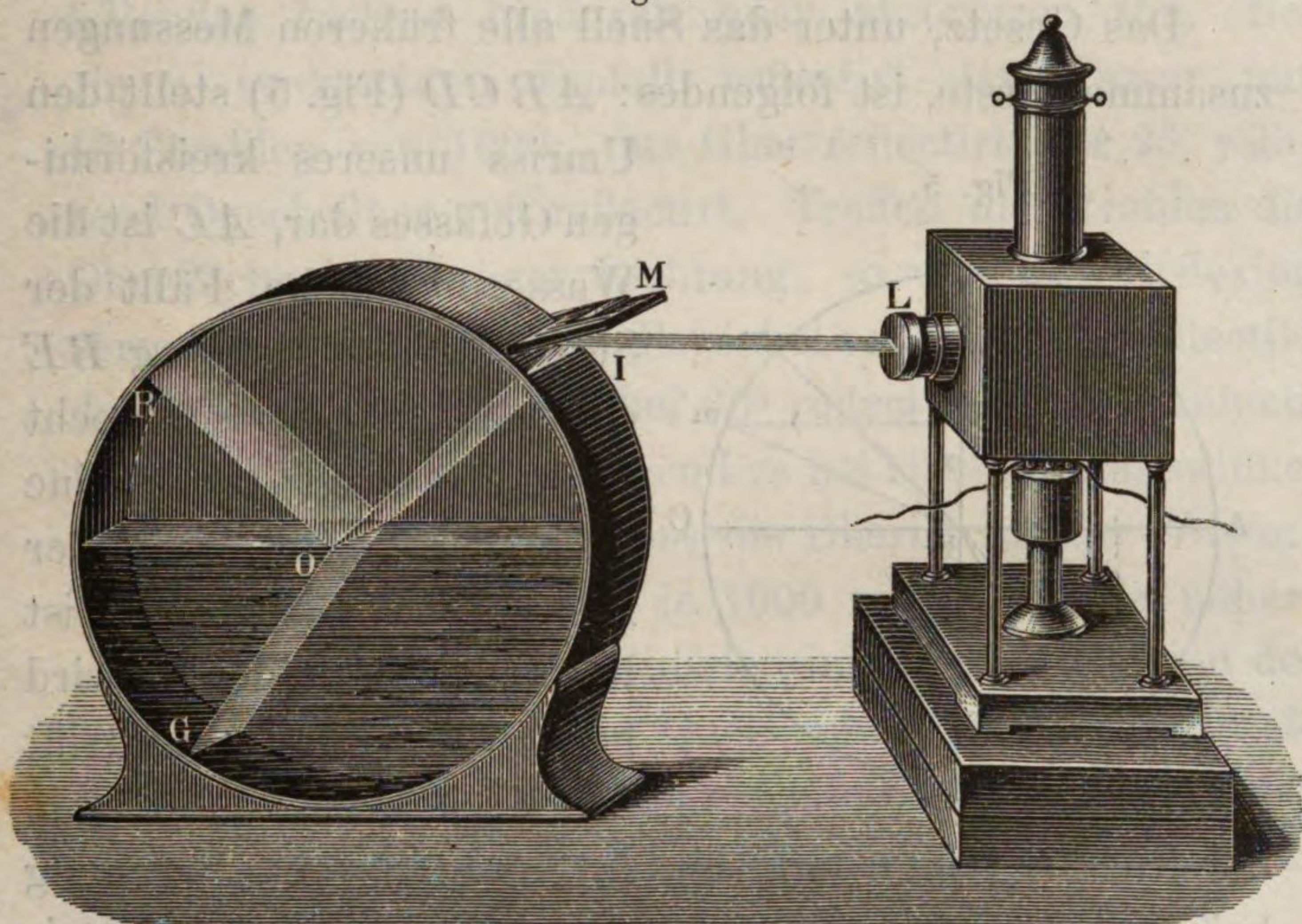
Für die Brechung des Lichtes wurde die eigentliche wissenschaftliche Forschung im Jahre 1100 von einem arabischen Forscher, Alhazen, wieder aufgenommen. Dann führen nach einander Roger Bacon, Vitellio und Kepler damit fort. Eine der wichtigsten Aufgaben der Wissenschaft ist, durch genaue Messungen die quantitativen Verhältnisse der Erscheinungen zu bestimmen; der Werth dieser Messungen hängt sehr von der Geschicklichkeit und der Gewissenhaftigkeit des Beobachters ab, der sie anstellt. Vitellio scheint sowohl geschickt, als auch gewissenhaft gewesen zu sein, während es Kepler's Gewohnheit war, unter den Beobachtungen seiner Vorgänger herumzuwühlen, sie nach allen Seiten zu betrachten und so daraus die Principien zu ziehen, die sie verbanden. Er hat dies mit den astronomischen Messungen von Tycho de Brahe gethan und aus ihnen die berühmten „Kepler'schen Gesetze“ abgeleitet. Er hat es ebenfalls mit Vitellio's Messungen der Brechung versucht, war aber in diesem Fall nicht so glücklich. Das Grundprincip, so einfach es ist, fand er nicht; es wurde erst von Willebrod Snell um das Jahr 1621 entdeckt.

Weniger in der Absicht, bei der Erscheinung selbst zu verweilen, als um sie in eine Form zu kleiden, die Ihnen später den Gang der theoretischen Betrachtungen New-

einiger Ihrer Schlüsse. Denn man hat mir gesagt, dass trotz aller Ihrer Arbeit Ihre Wissenschaften so viele Beispiele von bewiesenen Irrthümern enthalten, dass Sie, als ehrliche Menschen, sehr oft den Boden unter Ihren Füßen sehr schlüpfrig finden müssen.“ Schelling drückt seine Verachtung für die experimentelle Wissenschaft etwa folgendermaassen aus: „Die Optik Newton's ist das grösste Beispiel eines ganzen Gebäudes von Irrthümern, das in all seinen Theilen auf Beobachtung und Experiment gegründet ist.“ Es giebt noch einige kleine Nachahmer Schelling's in Deutschland.

ton's klar machen soll, will ich hier die Brechung näher erläutern. Ich will nicht den Weg des Strahles mit Kreide auf eine schwarze Tafel zeichnen, sondern er soll seine eigene weisse Spur vor Ihnen angeben. Ein hohles, kreisförmiges Gefäß *RIG*, Fig. 4, dessen Vorderseite eine Glaswand bildet, ist halb mit Wasser angefüllt, das durch Beimischung von etwas Milch oder durch den Niederschlag

Fig. 4.

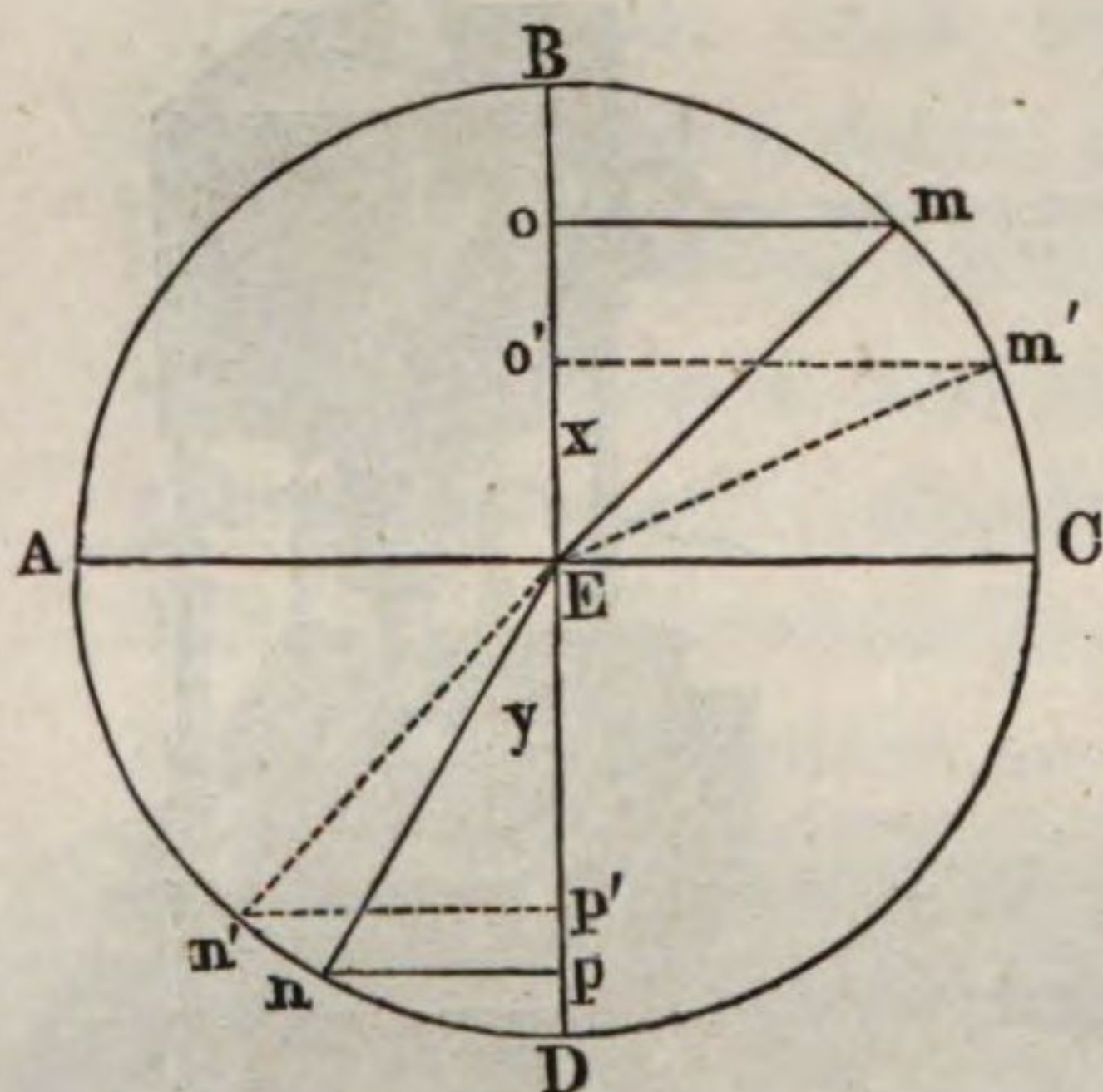


von etwas Mastix getrübt worden ist. Ich stelle dasselbe so auf seinen Rand, dass die Glasseite vertical steht. Ich werfe vermittelst eines kleinen Spiegels (*M*) durch eine im Rande des Gefässes angebrachte Spalte einen Lichtstrahl in irgend einer Richtung hinein. Er trifft auf das Wasser (bei *O*), tritt in dasselbe ein und zieht sich durch die Flüssigkeit wie ein scharfes, helles Band (*OG*). Inzwischen geht der Strahl unsichtbar durch die Luft über dem Wasser, denn die Luft vermag nicht das Licht zu zerstreuen. Eine geringe Menge von Tabacksrauch

enthüllt in diesem Raum sogleich die Spur des einfallenden Strahles. Ist der Einfall vertical, so bleibt der Strahl ungebrochen. Fällt der Strahl schräg ein, so wird seine Brechung an der gemeinschaftlichen Oberfläche von Wasser und Luft (bei O) deutlich sichtbar. Man sieht auch, dass die Reflexion in der Richtung (OR) die Brechung begleitet, indem sich der Strahl dann am Einfallspunkt in einen gebrochenen und einen reflectirten Theil theilt.

Das Gesetz, unter das Snell alle früheren Messungen zusammenfasste, ist folgendes: $ABCD$ (Fig. 5) stellt den

Fig. 5.



Umriss unseres kreisförmigen Gefäßes dar, AC ist die Wasseroberfläche. Fällt der Strahl in der Richtung BE ein, das auf AC senkrecht steht, so zeigt sich keine Brechung. Fällt er in der Richtung mE ein, so ist Brechung vorhanden; er wird bei E abgelenkt und trifft den Kreis bei n . Fällt er in

der Richtung $m'E$ ein, so tritt ebenfalls eine Brechung bei E ein und der Strahl trifft den Punkt n' . Ziehen wir von den Enden der einfallenden Strahlen die Lothe mo , $m'o'$ auf BD , und von den Enden der gebrochenen Strahlen die Lothe pn , $p'n'$ auf ED ; messen wir die Länge von mo und von pn , und theilen wir das Eine durch das Andere, so erhalten wir einen gewissen Quotienten. Theilen wir in derselben Weise $m'o'$ durch das entsprechende Loth $p'n'$, so erhalten wir jedes Mal denselben Quotienten. Snell hat in der That gefunden, dass dieser Quotient eine constante Grösse für jede besondere Substanz ist, obgleich er von Substanz zu Substanz

sich ändert. Er nannte den Quotienten den Brechungsindex.

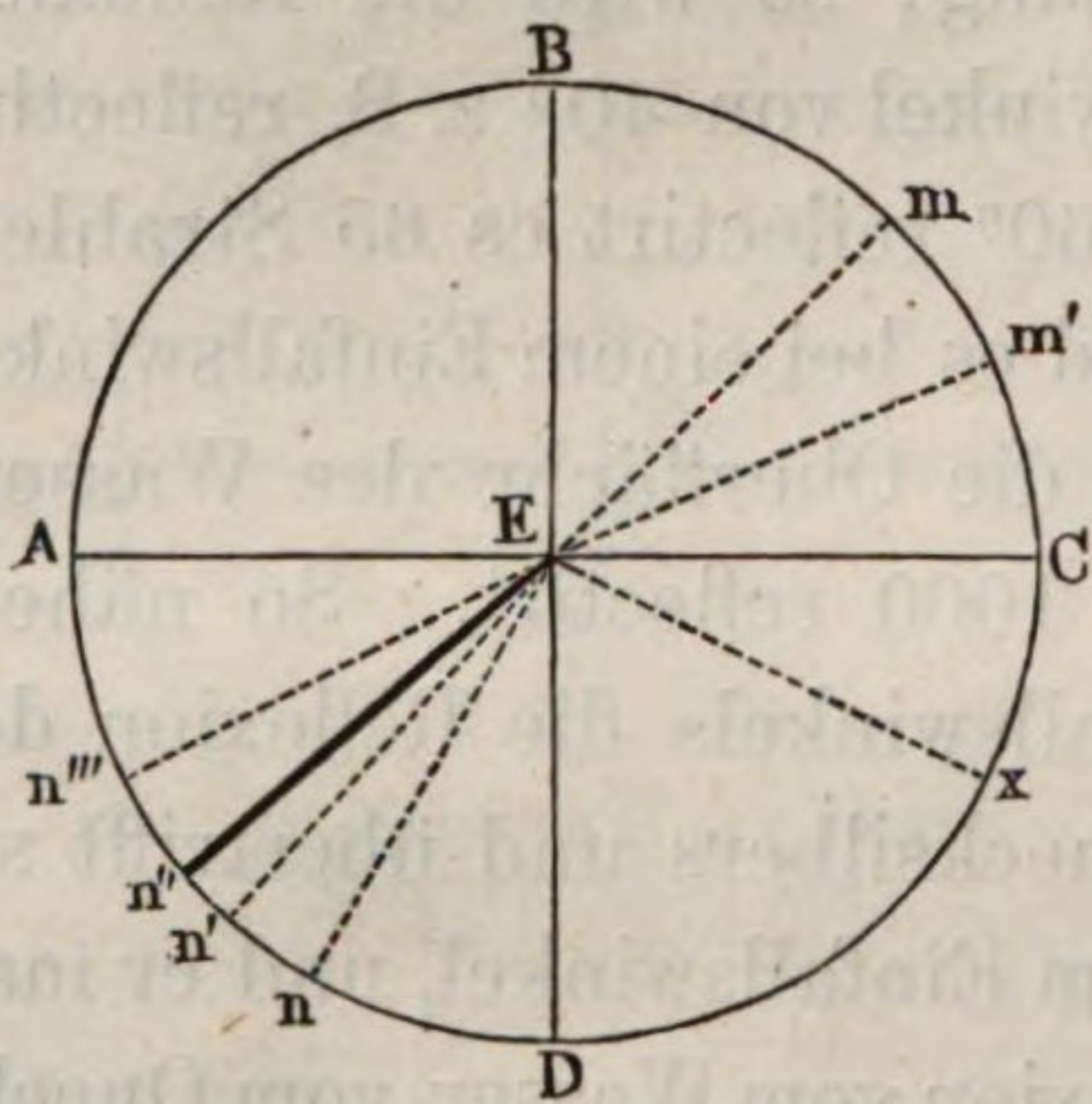
In allen Fällen, wo das Licht aus der Luft auf die Oberfläche von festen oder flüssigen Körpern trifft oder, noch allgemeiner ausgedrückt, wenn das Licht durch ein weniger brechendes auf ein stärker brechendes Medium fällt, ist die Brechung partiell. In diesem Fall lassen die stärkst reflectirenden Substanzen einen Theil des einfallenden Lichtes hindurch oder absorbiren ihn. Bei einem senkrechten Einfall reflectirt das Wasser nur 18 Strahlen von 1000; das Glas reflectirt nur 25, während Quecksilber 666 reflectirt. Treffen die Strahlen die Oberfläche in schräger Richtung, so wird die Reflexion vermehrt. Bei einem Einfallswinkel von 40° z. B. reflectirt das Wasser 22 Strahlen, bei 60° reflectirt es 65 Strahlen, bei 80° 333 Strahlen; während es bei einem Einfallswinkel von $89\frac{1}{2}^\circ$, wo das Licht fast die Oberfläche des Wassers streift, 721 Strahlen von je 1000 reflectirt. So nähert sich mit der Grösse des Einfallswinkels die Reflexion des Wassers der Reflexion des Quecksilbers und übertrifft sie am Ende noch; aber bei keinem Einfallswinkel, und er mag noch so gross sein, ist die Reflexion vom Wasser, vom Quecksilber oder von irgend einer andern Substanz total.

Und doch kann eine totale Reflexion eintreten. Um ihre spätere Anwendung beim Nicol'schen Prisma zu verstehen, muss ich erklären, wann sie sich zeigt. Hierzu muss ich Sie mit einem Princip bekannt machen, dem alle optischen Erscheinungen sich unterordnen — dem Princip der Umkehrbarkeit¹⁾. Bei der Brechung z. B., wenn der

¹⁾ Aus diesem Princip leitet Sir John Herschel in einfacher und eleganter Weise die fundamentalen Gesetze der Reflexion ab. — Siehe Familiar Lectures, p. 236.

Strahl in schräger Richtung von der Luft in das Wasser fällt, neigt er sich zur Senkrechten; fällt er vom Wasser in die Luft, so neigt er sich von der Senkrechten fort und kehrt seinen Weg gerade um. Wenn so in Fig. 5 mEn der Weg ist, den der Strahl genommen, als er von der Luft in das Wasser fiel, so ist nEm der Weg, den er nimmt, wenn er vom Wasser in die Luft fällt. Wir wollen dieses Gesetz bis in seine letzten Consequenzen verfolgen. Wir wollen annehmen, dass das Licht, statt in der Richtung mE oder $m'E'$ einzufallen, so nahe als möglich in der Richtung CE (Fig. 6) einfiele, so dass es also gerade die Oberfläche

Fig. 6.



streifte, ehe es ins Wasser einträte. Nach der Brechung nimmt es den Weg En'' . Im umgekehrten Fall, wenn das Licht von n'' ausgeht und bei E einfällt, wird es beim Entweichen in die Luft eben die Oberfläche des Wassers streifen. Die Frage tritt an uns heran, was wird geschehen, wenn wir annehmen, dass der Strahl aus dem Wasser den Weg $n'''E$ verfolgt, der jenseits $n''E$ liegt, und die Antwort lautet, dass er gar nicht das Wasser verlassen wird, sondern in der Richtung Ex total reflectirt wird. Dabei ist das Gesetz der Reflexion für die untere Oberfläche des Wassers ganz dasselbe, wie für die obere, da auch hier der Einfallswinkel (DEn''') dem Reflexionswinkel (DEx) vollkommen gleich ist.

Die totale Reflexion kann durch folgenden einfachen Versuch veranschaulicht werden: Legen Sie ein Geldstück in ein Trinkglas und drehen Sie das Glas so, dass das

vom Geldstück kommende Licht in der richtigen Neigung auf die darüber liegende Oberfläche fällt. Sehen Sie dann von unten auf die Oberfläche, so werden Sie dort das Bild des Geldstücks gerade so hell leuchten sehen, wie das Geldstück selbst. Stellen Sie das geschlossene Ende eines Reagirglases in Wasser und neigen Sie die Röhre. Wenn die Neigung genügend ist, so kann das in horizontaler Richtung auf die Röhre fallende Licht nicht mehr in die darin befindliche Luft eintreten, sondern wird total aufwärts reflectirt; von oben gesehen glänzt eine solche Röhre wie polirtes Silber. Giessen Sie etwas Wasser in die Röhre; sowie die Flüssigkeit steigt, wird die totale Reflexion vernichtet und mit ihr der Glanz; es bleibt nur ein allmählich abnehmender leuchtender Gürtel, der ganz verschwindet, wenn das Niveau des Wassers in der Röhre das Niveau ausser derselben erreicht. Jede Glasröhre, deren eines Ende wasserdicht geschlossen ist, erzeugt diese Wirkung, die ebenso schön, wie lehrreich ist.

Totale Reflexion tritt nur ein, wenn ein Strahl von einem stärker brechenden zu einem schwächer brechenden Medium überzugehen versucht; in diesem Fall aber stets, wenn die Neigung genügend ist. Die Wüstenspiegelungen und andere Trugbilder in der Atmosphäre verdanken ihr zum Theil ihren Ursprung. Wenn die Sonne z. B. eine grosse Sandfläche erwärmt, so wird die Luftschicht, die mit dem Sand in Berührung ist, dünner und schwächer brechend, als die darüber liegende Luft; folglich werden die Strahlen, die von einem entfernten Gegenstand sehr schräg auf die Oberfläche der erhitzten Schicht fallen, oft total aufwärts reflectirt, und erzeugen so ähnliche Bilder, wie das Wasser vorhin. Ich habe auf dem erwärmten Strand der Normandie, nahe bei Avranches, das Bild eines Felsens, Mont Tombeline, umgekehrt gesehen; diese

Trugbilder waren es auch, die den durstigen Soldaten der französischen Armee in Aegypten so lange Tantalusqualen bereiteten.

Der Winkel, der die Grenze bezeichnet, jenseits deren totale Reflexion eintritt, heisst der Grenzwinkel (er ist in Fig. 6 durch die dicke Linie En'' bezeichnet). Er muss augenscheinlich abnehmen, wenn der Brechungsindex zunimmt. Für Wasser ist er $48\frac{1}{2}^\circ$, für Flintglas $38^\circ 41'$ und für den Diamanten $23^\circ 42'$. So wird alles Licht, das von zwei vollständigen Quadranten oder 180° einfällt, beim Diamanten auf den durch einen Winkel von $47^\circ 22'$ (zwei Mal $23^\circ 42'$) begrenzten Raum durch die Brechung condensirt. Verbunden mit diesem grossen Brechungsvermögen ist auch noch beim Diamanten ein grosses Zerstreungs- und Reflexionsvermögen; daher kommt der ausserordentliche Glanz des Edelsteins, sowohl für weisses als auch für farbiges Licht¹⁾.

Im Jahre 1676 wurde der Optik durch die Astronomie ein neuer Impuls gegeben. In diesem Jahre war Olav Roemer, ein gelehrter Däne, im Observatorium in Paris damit beschäftigt, die Verfinsterungen der Jupitersmonde zu beobachten. Dieser Planet, der 475 693 000 Meilen von der Sonne entfernt ist, hat vier Monde. Uns interessirt jetzt nur der, der dem Planeten am nächsten ist. Roemer

¹⁾ Wenn die totale Reflexion des Lichtes innerhalb eines Wasserstrahles geschieht, so leuchtet der Strahl bei seinem Fallen wie geschmolzene Lava. Man kann dann wohl fragen, da die Reflexion hier total und innerlich ist, wie der Strahl überhaupt gesehen wird. Wäre das Wasser rein, so glaube ich, könnte der Strahl nicht gesehen werden; das Licht würde sich in diesem Falle, wie Emerson sagt, in Durchsichtigkeit verhüllen. Man sieht den Wasserstrahl, wie wir den Lichtstrahl in unserm Versuch über Lichtbrechung (Fig. 4) gesehen haben, durch die Zerstreung des Lichtes durch mechanisch suspendirte Theilchen.

beobachtete diesen Mond, er sah ihn sich vor dem Planeten bewegen, auf dessen andere Seite übergehen und sich dann in den Schatten Jupiters versenken wie eine Lampe, die plötzlich erlischt; am zweiten Rande des Schattens sah er ihn wieder auftauchen, wie eine plötzlich angezündete Lampe. So spielte der Mond die Rolle eines Signallichtes für den Astronomen und ermöglichte es ihm, seine Umdrehungszeit genau zu bestimmen. Er fand, dass der Zwischenraum zwischen zwei aufeinander folgenden Aufleuchtungsmomenten dieser Mondlampe 42 Stunden 28 Minuten 35 Secunden betrug.

Diese Zeitmessung war so genau, dass, als der Moment bestimmt war, an dem der Mond aus dem Schatten trat, auch der Moment seines Erscheinens nach hundert Verfinsterungen bestimmt werden konnte. Es würden dann 100 Mal 42 Stunden 28 Minuten 35 Secunden nach der ersten Beobachtung vergangen sein.

Roemer hatte seine erste Beobachtung angestellt, als die Erde auf ihrer Bahn die dem Jupiter zunächst gelegene Stelle berührte. Ungefähr sechs Monate nachher, als die Erde an der entgegengesetzten Seite ihrer Bahn war, fand sich, als der kleine Mond zum hundertsten Mal erscheinen sollte, dass er unpünktlich war und volle 15 Minuten hinter der berechneten Zeit zurückblieb. Sein Erscheinen war überdies allmählich immer später eingetreten, während die Erde nach der Seite ihrer Bahn zog, die vom Jupiter am entferntesten lag. Roemer schloss so: „Wäre es mir möglich gewesen, an der andern Seite der Erdbahn zu bleiben, so würde der Mond stets im richtigen Augenblick erschienen sein; ein dorthin gestellter Beobachter hätte den Mond wahrscheinlich 15 Minuten früher gesehen. Für mich ist die Verzögerung der Ursache zuzuschreiben, dass das Licht 15 Minuten braucht,

um von der Stelle, wo ich meine ersten Beobachtungen anstellte, bis hierher zu kommen.“

Diesem Lichtblitz des Genius folgte sogleich ein zweiter. „Wenn diese Voraussetzung richtig ist,“ schloss Roemer weiter, „so muss, wenn ich mich dem Jupiter jetzt auf der andern Seite der Erdbahn wieder nähere, die Verzögerung allmählich abnehmen, und wenn ich an den Punkt meiner ersten Beobachtung komme, darf gar keine Verzögerung mehr stattfinden.“ Er fand dies bestätigt und bewies dadurch nicht nur, dass das Licht Zeit braucht, um durch den Raum zu dringen, sondern bestimmte auch seine Fortpflanzungsgeschwindigkeit.

Die Geschwindigkeit des Lichtes beträgt nach den Bestimmungen Roemer's 192 500 engl. Meilen (309 800 Kilom.) in der Secunde.

Eine Zeit verging indess, ehe die Beobachtungen und Schlüsse Roemer's Glauben fanden. Sie wurden von Cassini, Fontenelle und Hooke bezweifelt. Dann kam die unerwartete Uebereinstimmung des englischen Astronomen Bradley mit Roemer, der da beobachtete, dass die Fixsterne nicht wirklich festständen, sondern jedes Jahr am Himmel kleine Bahnen beschrieben. Das Resultat machte Bradley stutzig, aber er hatte ein offenes Auge für die Bedeutung auch der geringfügigsten Erscheinung, und erkannte in der unbedeutendsten Thatsache ein Bild der grössten. Er fuhr eines Tages in einem Boot auf der Themse und bemerkte, dass die Flagge am Mast, so lange sein Lauf unverändert blieb, anzeigte, dass der Wind constant in derselben Richtung blies, dass aber der Wind mit jedem Wechsel in der Richtung des Boots sich zu verändern schien. „Hier war das Bild seines Gedankens,“ wie Whewell sagt. Das Boot war die Erde, die

sich auf ihrer Bahn bewegte, und der Wind war das Licht eines Sternes.

Wir können fragen, was wären ohne Bradley's Befähigung, das „Bild“ zu sehen, Wind und Fahne für ihn gewesen? Wind und Fahne und nichts mehr. Sie werden die Bedeutung von Bradley's Entdeckung sogleich verstehen. Denken Sie sich, Sie sässen in einem stillstehenden Eisenbahnzug, während ein Regenschauer vertical herabströmt. In dem Augenblick, wo der Zug sich zu bewegen anfängt, scheinen die Regentropfen schräg zu fallen, und, je schneller der Zug sich bewegt, desto schräger wird ihre Richtung. In ganz derselben Weise scheinen die Strahlen eines vertical über unserm Haupte stehenden Sterns in Folge der Bewegung der Erde schräg durch den Raum zu fallen. Da wir die Geschwindigkeit des Zuges und die Neigung des fallenden Regens kennen, können wir die Geschwindigkeit der Tropfen berechnen, und da wir die Geschwindigkeit der Erde auf ihrer Bahn und die durch sie erzeugte Neigung der Strahlen kennen, können wir ebenso leicht die Geschwindigkeit des Lichtes berechnen. Dies that Bradley, und durch die „Aberration des Lichtes“, wie seine Entdeckung genannt wurde, vermochte er es, ihm eine Geschwindigkeit zuzuerkennen, die fast mit der identisch war, die Roemer durch eine gänzlich verschiedene Beobachtungsmethode gefunden hatte. Dann bestimmte Fizeau die Geschwindigkeit des Lichtes, indem er nicht die Entfernung von Planeten oder Sternen benutzte, sondern ganz einfach den Durchmesser von Paris; während nach ihm Foucault — ein Mann von seltenem mechanischem Genie — das Problem löste, ohne sein Zimmer zu verlassen. In Folge eines Irrthums in der Bestimmung der Entfernung der Erde von der Sonne ist die Geschwindigkeit, die

Roemer und Bradley dem Lichte zuschrieben, zu gross. Mit ziemlich genauer Sicherheit kann sie auf 186 000 engl. Meilen (299 300 Kilom.) in der Secunde angenommen werden.

Durch Roemer's Entdeckung wurde die von Descartes behauptete und von Hooke angenommene Ansicht, dass das Licht sich ohne Zeitverlust durch den Raum fortpflanzte, umgestossen. Die Bestimmung seiner Geschwindigkeit durch den Sternenraum führte aber auch zu Betrachtungen über seine Geschwindigkeit in durchsichtigen irdischen Substanzen. Der Brechungsindex eines Strahles, der von der Luft in das Wasser fällt, ist $\frac{4}{3}$. Newton nahm an, dass diese Zahlen bedeuten, dass wenn die Geschwindigkeit des Lichts im Wasser 4 ist, seine Geschwindigkeit in der Luft 3 ist, und er leitete die Brechungserscheinungen aus dieser Annahme ab. Es hat sich gezeigt, dass das Umgekehrte der Fall ist, d. h. wenn die Geschwindigkeit des Lichtes im Wasser 3 ist, seine Geschwindigkeit in der Luft 4 ist. Aber sowohl zu Newton's, wie in unserer Zeit bestimmte und bestimmt dasselbe grosse Princip den Lauf des Lichtes in allen Fällen. Geht das Licht von einer Stelle zur andern durch irgend ein beliebiges Medium, oder wird es in irgend einer Weise reflectirt, so nimmt es immer den Lauf, der die geringste Zeit beansprucht. So erreicht in Fig. 4 das Licht, wenn wir seine Geschwindigkeit in Luft und in Wasser mit in Betracht ziehen, *G* von *I* aus schneller, wenn es erst nach *O* geht und dort seinen Weg ändert, als wenn es gerade von *I* nach *G* ginge. Man kann dies leicht verstehen, da das Licht im letztern Fall eine grössere Entfernung im Wasser durchlaufen müsste, in welchem es mehr verzögert wird.

Snell's Gesetz der Brechung ist einer der Grundsteine der Optik und seine jetzigen Anwendungen sind millionen-

fach. Descartes wendete es gleich nach seiner Entdeckung bei der Erklärung des Regenbogens an. Ein Strahl des Sonnenlichtes, der schräg auf einen Regentropfen fällt, wird gebrochen, wenn er in den Tropfen tritt. Zum Theil wird er an der Hinterseite des Tropfens reflectirt und dann bei seinem Austreten auf der Vorderseite noch einmal gebrochen. Durch diese beiden Brechungen, einmal beim Eintritt und dann beim Austritt, wird der Lichtstrahl zerlegt, und wenn er den Tropfen verlässt, in seine farbigen Theile aufgelöst. Das Licht erreicht so das Auge eines Beobachters, der dem Tropfen gegenüber, mit dem Rücken gegen die Sonne steht.

Denken Sie sich eine Linie von der Sonne bis zum Auge des Beobachters gezogen und über den Beobachter hinaus verlängert. Denken Sie sich vom Auge aus eine andere Linie gezogen, die mit der von der Sonne aus gezogenen Linie einen Winkel von $42\frac{1}{2}^{\circ}$ einschliesst und bis zu dem fallenden Regenschauer verlängert ist. In der Richtung dieser zweiten Linie sendet uns der an ihrem Ende befindliche Regentropfen, wenn er von einem Sonnenstrahl getroffen wird, einen Strahl von rothem Licht. Jeder andere, ebenso gelegene Tropfen, d. h. jeder Tropfen, der in einem Winkelabstand von $42\frac{1}{2}^{\circ}$ von der ersten Linie liegt, wird dasselbe thun. So bildet sich ein kreisrunder Streifen von rothem Licht, den man als die Basis eines Kegels ansehen kann, welcher die Strahlen, die den Streifen bilden, als Oberfläche und seine Spitze am Auge des Beobachters hat. In Folge der Grösse der Sonne beträgt die Breite dieses Streifens einen halben Grad.

Denken Sie sich, dass eine andere Linie vom Auge des Beobachters aus gezogen sei, die wieder einen bestimmten Winkel mit der von dem Auge zur Sonne gezogenen Linie einschliesst, aber nicht von $42\frac{1}{2}^{\circ}$, sondern von $40\frac{1}{2}^{\circ}$.

Ein Sonnenstrahl, der einen Regentropfen trifft, wird in der Richtung dieser Linie dem Auge violette Licht zu-senden. Alle Tropfen in demselben Winkelabstand werden dasselbe thun, und wir werden daher einen Streifen von violettem Licht von derselben Breite, wie vorher den rothen Streifen erhalten. Diese beiden Streifen bilden die Grenzfarben des Regenbogens und zwischen ihnen liegen die Streifen, die den anderen Farben entsprechen.

So umschliesst die Linie, die von dem Beobachter bis zur Mitte des Bogens, und die Linie, die durch ihn hindurch zur Sonne gezogen wird, stets einen Winkel von etwa 41° . Einen Grund hierfür zu finden, war die grosse Schwierigkeit, die bis zu den Zeiten Descartes' ungelöst blieb.

Mit der Feder in der Hand berechnete Descartes nach Snell's Gesetz den Lauf jedes einzelnen Strahles durch einen Regentropfen und fand, dass bei einem besondern Winkel die Strahlen einander fast parallel aus dem Regentropfen austraten. Sie vermochten so ihre Intensität durch grosse Entfernungen in der Atmosphäre zu bewahren. Bei allen anderen Winkeln verliessen die Strahlen den Tropfen divergirend und wurden durch diese Divergenz so geschwächt, dass sie für das Auge unsichtbar wurden. Der hier erwähnte Winkel für den Parallelismus betrug 41° , und die Beobachtung hat bewiesen, dass er mit dem Regenbogen unabänderlich verbunden ist.

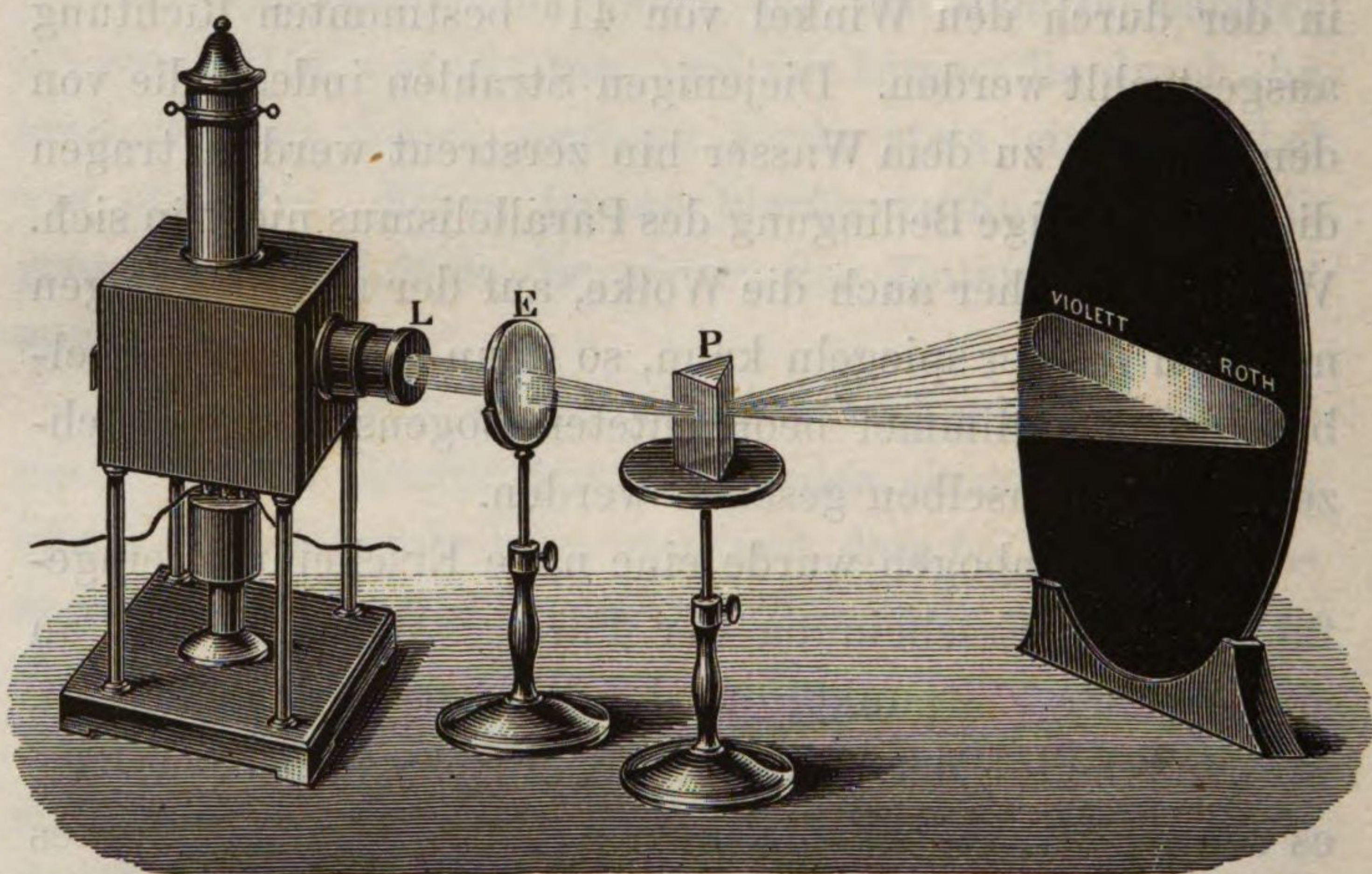
Wir wollen hier der Frage, die so oft der Gegenstand öffentlicher Besprechung gewesen ist, einen Augenblick widmen, ob sich nämlich ein Regenbogen, der einen ruhigen Wasserspiegel überspannt, jemals im Wasser spiegeln kann? Wenn Sie einen Bogen aus Pappe von der anscheinenden Breite des Regenbogens schneiden, ihn mit

den Farben des Regenbogens anmalen und ihn dann über ruhiges Wasser spannen, so würde er sich sicher, wenn die Entfernung nicht zu gross wäre, im Wasser spiegeln. Die farbigen Strahlen eines solchen Bogens würden nach allen Seiten ausgestrahlt werden und diejenigen, die im richtigen Winkel das Wasser trafen und zum Auge reflectirt würden, würden das Bild des Bogens geben. Aber die in dem Regenbogen wirksamen Strahlen können nur in der durch den Winkel von 41° bestimmten Richtung ausgestrahlt werden. Diejenigen Strahlen indess, die von den Tropfen zu dem Wasser hin zerstreut werden, tragen die nothwendige Bedingung des Parallelismus nicht in sich. Wenn sich daher auch die Wolke, auf der sich der Bogen malt, im Wasser spiegeln kann, so kann doch das Spiegelbild des am Himmel beobachteten Bogens nicht gleichzeitig mit demselben gesehen werden.

Im Regenbogen wurde eine neue Erscheinung eingeführt — die Erscheinung der Farbe. Wir sind hier an einem jener Zeitpunkte in der Wissenschaft angelangt, wo die Arbeiten der grossen Männer sich so mischen, dass es schwer ist, jedem einzelnen Arbeiter sein bestimmtes Maass von Anerkennung zu Theil werden zu lassen. Descartes stand an der Schwelle der Entdeckung der Zusammensetzung des Sonnenlichtes, aber Newton war die Enthüllung des wahren Gesetzes vorbehalten. Er ging folgendermaassen an die Arbeit: Er bohrte durch den geschlossenen Fensterladen eines Zimmers ein Loch und liess einen dünnen Sonnenstrahl hindurch fallen. Der Strahl verzeichnete ein rundes weisses Bild der Sonne auf die gegenüberstehende Wand des Zimmers. Newton stellte in den Weg dieses Strahles ein Prisma und erwartete den Strahl gebrochen zu sehen, das Bild der Sonne aber nach der Brechung auch noch wieder rund zu finden. Zu seiner

Ueberraschung war es zu einem Bilde ausgedehnt worden, das fünfmal so lang, als breit war. Ueberdies war es nicht mehr weiss, sondern in Streifen von verschiedenen Farben getheilt. Newton erkannte augenblicklich, dass das Sonnenlicht zusammengesetzt, nicht einfach sei. Sein verlängertes Bild enthüllte ihm die Thatsache, dass einige Theile des Lichtes von dem Prisma mehr abgelenkt wurden

Fig. 7.



als andere, und er schloss daraus, dass das weisse Sonnenlicht eine Mischung von Lichtern von verschiedenen Farben und von verschiedenen Graden der Brechbarkeit sei.

Wir wollen diesen berühmten Versuch wiederholen. Auf den Schirm ist jetzt eine leuchtende Scheibe geworfen, die wir als Newton's Bild der Sonne ansehen können. Lassen wir den Strahl (von *L*, Fig. 7), der die Scheibe erzeugt, durch eine Linse (*E*) fallen, die ein Bild der Oeffnung giebt, und dann durch ein Prisma (*P*) gehen, so erhalten wir Newton's gefärbtes Bild mit seinen rothen und violetten Schlussfarben, das er ein Spec-

trum nannte. Newton theilte das Spectrum in sieben Theile — roth, orange, gelb, grün, blau, indigo, violett, die gewöhnlich die primären oder prismatischen Farben genannt werden. Die Zerlegung des weissen Lichtes in seine einzelnen Farben heisst Dispersion.

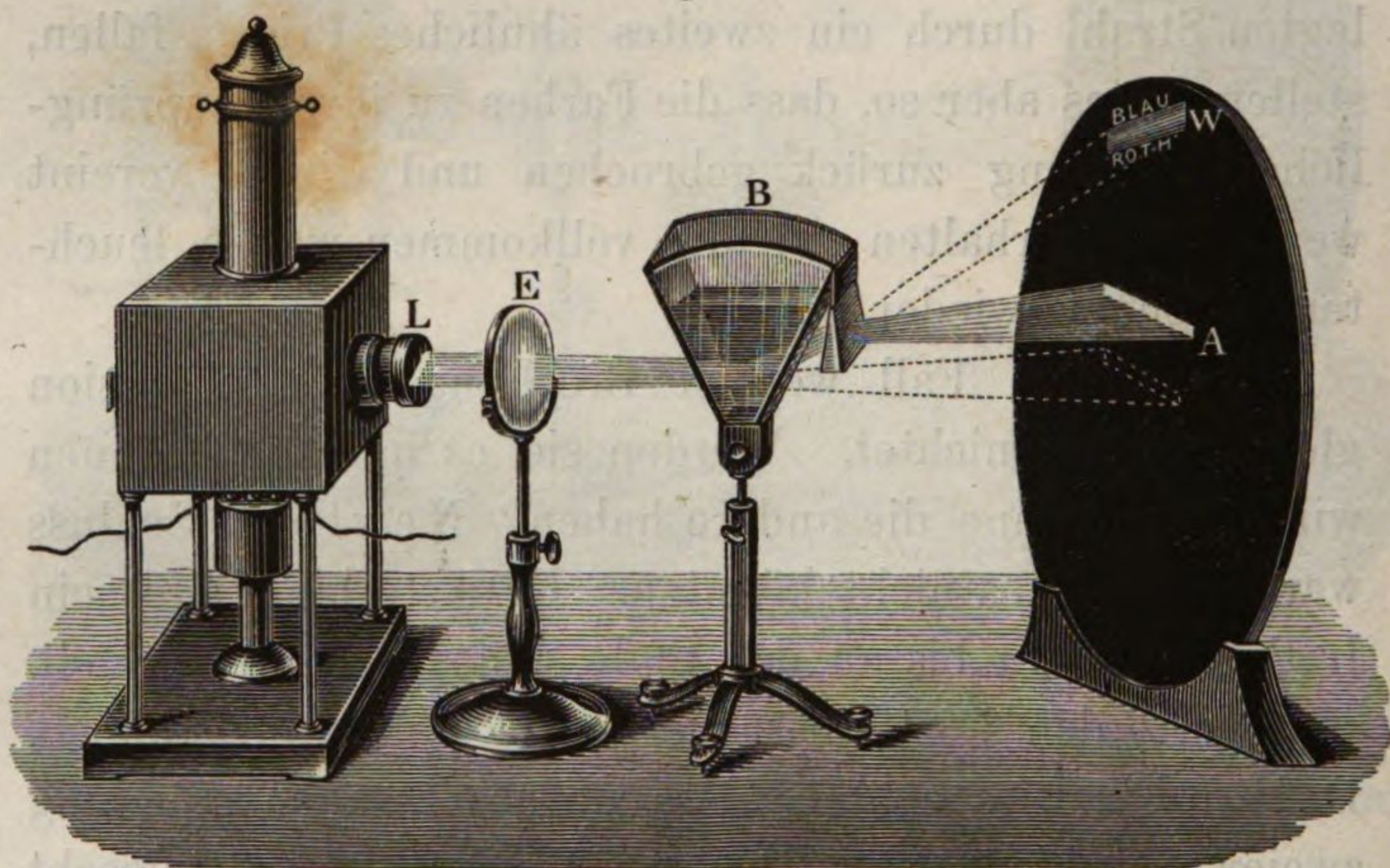
Dies war die erste Analyse des Sonnenlichtes von Newton; doch strebt der Naturforscher immer nach einer Bestätigung der einzelnen Facta und vernachlässigt dieselbe niemals, wann und wo es irgend möglich ist. Newton vervollständigte deshalb seinen Beweis folgendermaassen durch die Synthese: Das Spectrum vor Ihnen wird durch ein Glasprisma erzeugt. Lassen wir den zerlegten Strahl durch ein zweites ähnliches Prisma fallen, stellen dieses aber so, dass die Farben zu ihrer ursprünglichen Richtung zurück gebrochen und wieder vereint werden, so erhalten wir die vollkommen weisse, leuchtende Scheibe wieder.

In diesem Fall werden Brechung und Dispersion gleichzeitig vernichtet. Werden sie es immer? Können wir die eine ohne die andere haben? Newton's Schluss war, dass wir es nicht könnten. Er irrte hier, und sein Irrthum, den er bis an das Ende seines Lebens festhielt, verzögerte den Fortschritt der optischen Entdeckungen. Dollond bewies später, dass durch Zusammenstellung zweier verschiedener Glasarten die Farben ausgelöscht werden können, so dass doch noch ein Rückstand von Brechung zurückbleibt. Diesen Rückstand verwandte er zur Construction von achromatischen Linsen — Linsen, die keine Farbe geben — was Newton für eine Unmöglichkeit hielt. Wenn wir vor ein Wasserprisma, das in einem keilförmigen Gefäss mit Glaswänden enthalten ist (*B* Fig. 8 a. f. S.), in umgekehrter Lage einen Glaskeil (rechts von *B*) setzen, so kann ich Ihnen diese Erscheinung hier zeigen.

Wir haben zuerst den Ort (punctirt), wo der ungebrochene Strahl auf den Schirm trifft, verzeichnet, dann projeciren wir das schmale Wasserspectrum (*W*) und zuletzt, indem wir ein Flintglasprisma einführen, brechen wir den Strahl zurück, bis dass die Farbe (bei *A*) verschwindet. Das Bild der Spalte ist jetzt weiss, aber Sie sehen, dass, obgleich die Dispersion vernichtet ist, doch noch immer eine ziemlich grosse Brechung zurückbleibt.

An dieser Stelle wollen wir auch noch einen andern Gegenstand erläutern, der sich auf die instrumentalen Hilfsmittel bezieht, die wir in diesen Vorlesungen an-

Fig. 8.

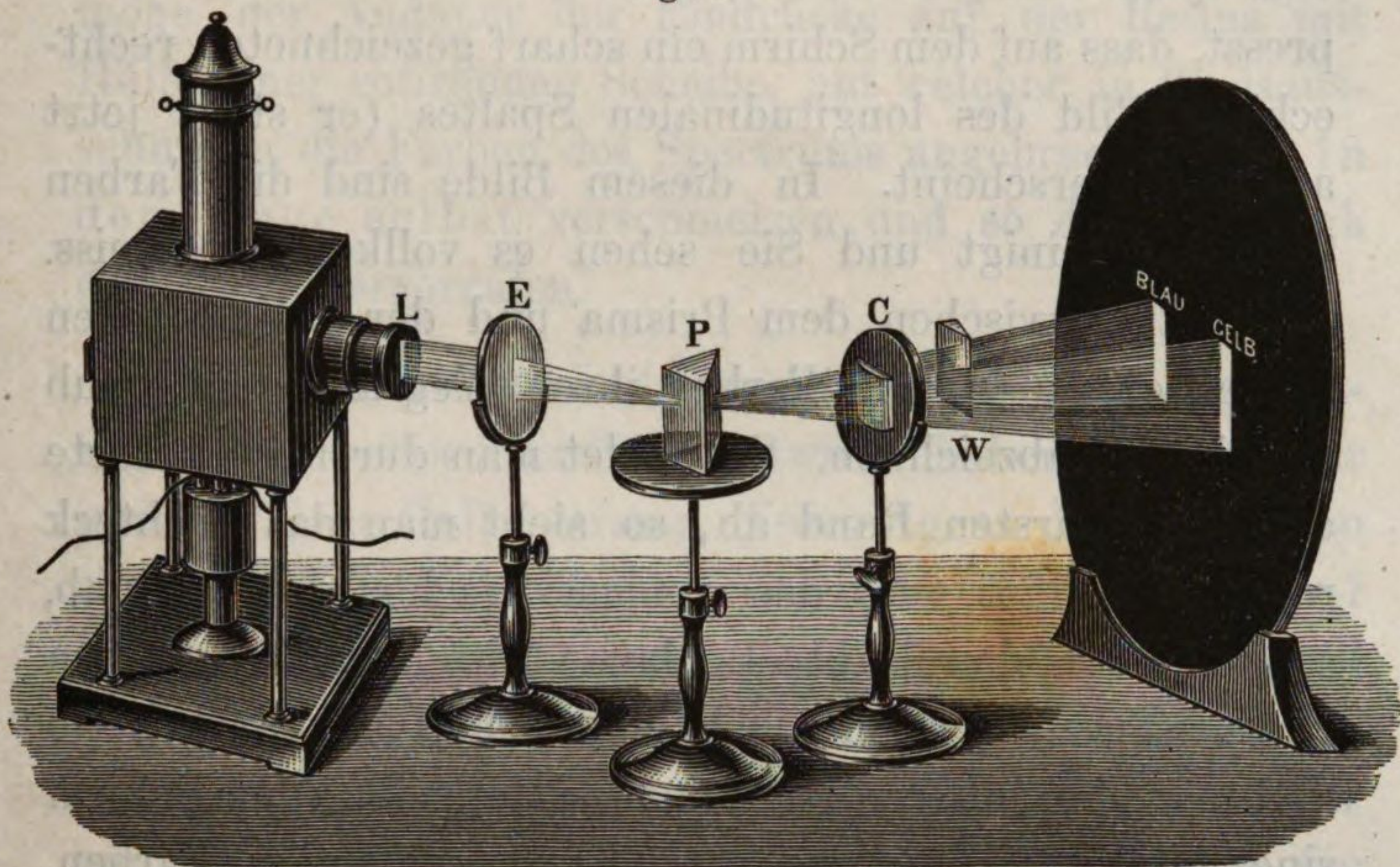


wenden. Die Körper unterscheiden sich bedeutend von einander in Bezug auf ihr Brechungs- und Dispersionsvermögen. Merken Sie sich die Stellung des Wasserspectrums auf dem Schirm. Wir wollen das keilförmige Gefäss ganz unverändert lassen und nur das Wasser durch den durchsichtigen Schwefelkohlenstoff ersetzen; nun sehen Sie, wie viel höher der Strahl geworfen wird und wie viel reicher sein Farbenspiel ist. Um die Breite

unseres Spectrums zu vergrössern, benutzen wir hier (bei *L*) einen Spalt statt einer runden Oeffnung¹⁾.

Die Synthese des weissen Lichtes kann auf dreierlei Arten erreicht werden, denen wir jetzt unsere Aufmerk-

Fig. 9.



samkeit zuwenden wollen. Hier haben wir zuerst ein schönes Spectrum, das durch die Zerlegung des Strahles (von *L*, Fig. 9) erzeugt worden ist. Vor die eine Seite des

¹⁾ Das geringe Dispersionsvermögen des Wassers verdeckt, wie Helmholtz bemerkt hat, die unvollkommene Achromasie des Auges. Mit dem blossen Auge kann ich eine ferne blaue Scheibe scharf begrenzt sehen, nicht aber eine rothe. Ich kann auch die Linien, die die oberen und unteren Grenzen eines horizontalen gebrochenen Strahles bilden, deutlich am blauen Ende sehen, aber nur unklar am rothen. Wenn ich eine beleuchtete kreisförmige Oeffnung auf einen Schirm projicire und den einen Halbkreis der Oeffnung mit einem rothen und den andern mit einem grünen oder blauen Glas bedecke, so ist in diesem Falle und in unzähligen anderen Fällen der Unterschied zwischen den scheinbaren Grössen der beiden Halbkreise ausserordentlich bedeutend. Viele Personen schätzen indess diese scheinbaren Grössen der Halbkreise in verschiedenem Sinne. Corrigire ich mit einer Brille die Zerstreuung des rothen Lichtes

Prismas (P) wird ein Schirm mit einem länglichen Spalt gestellt (nicht sichtbar auf der Abbildung), durch welchen der Strahl auf das Prisma fällt. Er tritt zerlegt auf der andern Seite heraus. Ich lasse die Farben durch eine cylindrische Linse (C) gehen, die sie so zusammenpresst, dass auf dem Schirm ein scharf gezeichnetes, rechteckiges Bild des longitudinalen Spaltes (er steht jetzt aufrecht) erscheint. In diesem Bilde sind die Farben wieder vereinigt und Sie sehen es vollkommen weiss. Man kann zwischen dem Prisma und der cylindrischen Linse sehen, wie die Farben ihren Weg auf dem Staub im Zimmer abzeichnen. Schneidet man durch eine Karte den brechbarsten Rand ab, so sieht man das Rechteck roth; schneidet man den wenigst brechbaren Rand ab, so sieht man das Rechteck blau. Mittelst eines dünnen Glasprismas (W) lenke ich einen Theil der Farben ab und lasse den übrigen Theil unverändert. Auf dem Schirm sind jetzt zwei Rechtecke von verschiedenen Farben. Dieses sind complementäre Farben — Farben, die durch ihre Vereinigung Weiss erzeugen. Merken Sie sich, dass bei richtiger Stellung des dünnen Prismas die eine dieser Farben gelb und die andere blau ist. Ich ziehe das dünne Prisma zurück, sogleich mischen sich Gelb und Blau, und Weiss ist das Resultat ihrer Mischung. So beseitigen wir den Irrthum, auf den Helmholtz zuerst aufmerksam machte, dass eine Mischung von blauem und gelbem Lichte Grün erzeugen sollte.

Setzen wir die kreisförmige Oeffnung wieder ein, so erhalten wir wieder das Newton'sche Spectrum. Vermit-

über die Retina hin, dann hört das blaue auf, ein in seinen Umrissen scharf begrenztes Bild zu geben. Untersucht man so die Abweichung des Auges von der Achromasie, so erscheint sie wirklich sehr bedeutend.

telst einer Linse fangen wir seine Farben auf und fügen sie zusammen, nicht zu dem Bilde der Oeffnung, sondern zu dem Bilde der Kohlenspitzen selbst.

Endlich können wir die prismatischen Farben vermöge der Andauer der Eindrücke auf der Retina mit Hülfe einer rotirenden Scheibe, auf welcher in Kreisausschnitten die Farben des Spectrums angebracht sind, in dem Auge selbst verschmelzen und so den Eindruck des Weiss hervorrufen.

Nachdem wir so die ineinander verwobenen Bestandtheile des weissen Lichtes entwirrt haben, fragen wir jetzt: Welche Rolle vermag dieses Agens durch seine so eigenthümliche Zusammensetzung in der Natur zu spielen? Wir verdanken ihm alle Erscheinungen der Farbe, und doch nicht ihm allein, denn es muss eine gewisse Beziehung zwischen den kleinsten Theilchen der natürlichen Körper und dem weissen Licht geben, die sie befähigt, ihm die Pracht ihrer Farbe zu entnehmen. Doch ist die Thätigkeit der Naturkörper hier nur wählerisch, nicht schöpferisch. Es wird keine Farbe von irgend einem Körper erzeugt. In dem weissen Licht der Sonne wird auf die Körper in der Natur die ganze Summe aller möglichen Farben ausgeschüttet, und ihre Thätigkeit beschränkt sich darauf, diese Summe zu sichten und von den Farben diejenigen aufzunehmen, die ihnen wirklich angehören, und die übrigen, die es nicht thun, zurückzuwerfen. Sie werden diese Behauptung leichter verstehen, wenn ich sage, dass es der Theil des Lichtes ist, den sie zurückwerfen, und nicht der, der ihnen zukommt, welcher den Körpern ihre Farbe giebt.

Wir wollen unsere experimentelle Untersuchung mit der Frage beginnen: Was ist Schwarz? Ziehen Sie ein

schwarzes Band durch alle Farben des Spectrums; es löscht sie alle aus. So wird der Begriff von Schwarz klar — es ist das Resultat der Absorption aller Bestandtheile des Sonnenlichtes. Ziehen Sie ein rothes Band durch das Spectrum. Im rothen Licht ist das Band blendend roth. Warum? Weil das Licht, das auf das Band fällt, nicht ausgelöscht oder absorbirt, sondern grossentheils zum Auge zurückgestrahlt wird. Legen Sie dasselbe Band in das Grün des Spectrums; es wird schwarz wie Kohle. Es absorbirt das grüne Licht und lässt den Raum, auf den es fällt, in tiefster Dunkelheit. Legen Sie ein grünes Band in das Grün des Spectrums. Es leuchtet lebhaft in seiner eigenen Farbe; bringen Sie es in das Roth, es ist wieder schwarz wie Kohle. Hier absorbirt es alles Licht, das darauf fällt, und zeigt dem Auge nur tiefe Dunkelheit.

Wenn wir weisses Licht benutzen, so sieht das rothe Band dasselbe, indem es das Grün auslöscht, und das grüne Band, indem es das Roth auslöscht, und beide Bänder zeigen die übrigbleibende Farbe. Daher ist der Process, durch den die Körper ihre Farbe erhalten, ein negativer. Die Farben werden durch Subtraction, nicht durch Addition erzeugt. Dieses rothe Glas ist roth, weil es alle brechbareren Strahlen des Spectrums zerstört. Diese blaue Flüssigkeit ist blau, weil sie alle weniger brechbaren Strahlen zerstört. Beide zusammen sind dunkel, weil das vom einen durchgelassene Licht vom andern ausgelöscht wird. Wir erhalten so durch die Vereinigung zweier durchsichtiger Stoffe eine Vorrichtung, die sich dunkel wie Pech gegen das Sonnenlicht verhält. Diese andere Flüssigkeit ist endlich purpurn, weil sie das Grün und das Gelb auslöscht und den Endfarben des Spectrums den Durchgang unbehindert gestattet. Aus der Vermischung

vom Blau und Roth ist diese prachtvolle Purpurfarbe entstanden.

Wir thun noch einen Schritt weiter, um ganz klar zu sein. Das Licht, das auf einen Körper fällt, wird in zwei Theile getheilt, von denen der eine von der Oberfläche des Körpers reflectirt wird, und dieser hat dieselbe Farbe, wie das einfallende Licht. Ist das einfallende Licht weiss, so wird das auf der Oberfläche reflectirte Licht auch weiss sein. Sonnenlicht z. B., selbst wenn es von der Oberfläche eines schwarzen Körpers reflectirt wird, ist weiss. Der schwärzeste Camphinrauch lässt in einer dunkeln Stube, in die ein Sonnenstrahl aus einer Oeffnung im Fensterladen fällt, die Spur des Strahles durch das Licht, das von den Oberflächen der Russtheilchen verstreut wird, weiss erscheinen. Der Mond erscheint uns, als ob er

„Gehüllt in weissen Sammt, mystisch schön“

sei, und, wäre er selbst mit dem schwärzesten Sammet bedeckt, würde er doch noch als weisse Kugel am Himmel schweben und ebenso auf unsere Welt hernieder scheinen, wie jetzt.

Der zweite Theil des Lichtes dringt in den Körper ein, und von seiner dortigen Aufnahme hängt die Farbe des Körpers ab. Wir wollen die Wirkung der Körper auf das Licht näher analysiren. Dieselben sind aus Theilchen zusammengesetzt, die mit einem Träger des Lichtes vereint sind. Aber so innig die Theilchen mit einander vermischt sein mögen, sie bleiben immer Theilchen, die stets von einander getrennt sind, wenn auch durch äusserst kleine Entfernungen. Sie sind im wissenschaftlichen Sinn nicht optisch continuirlich. Wo aber die optische Continuität zerrissen ist, haben wir stets eine Reflexion von ein-

fallendem Licht. Es ist die Menge von Reflexionen an den Grenzflächen der Theilchen, die das Licht hindert, durch Glas oder Steinsalz zu fallen, wenn diese durchsichtigen Massen zu Pulver zermalmte sind. Das Licht wird hier in einer Unmasse von „Echos“ erschöpft, nicht durch wirkliche Absorption ausgelöscht. Es ist dieselbe Reflexion, die die Gewitterwolke für Licht so undurchdringlich macht. Eine solche Wolke besteht aus Wassertheilchen, die mit Lufttheilchen gemischt sind; beide getrennt sind durchsichtig, aber wenn sie vermischt sind, sind sie vollkommen undurchsichtig.

Bei den Farbstoffen wird das Licht an den Grenzflächen der Theilchen reflectirt, es wird aber zum Theil in den Theilchen absorbirt. Die Reflexion ist nothwendig, um das Licht zum Auge zurückzusenden; die Absorption ist nothwendig, um dem Körper seine Farbe zu geben. Dieselbe Bemerkung lässt sich auf die Blumen anwenden. Die Rose verdankt ihre rothe Farbe nicht dem Licht, das von ihrer Oberfläche reflectirt wird, sondern dem Licht, das in ihre Substanz eingedrungen und an den inneren Flächen reflectirt ist, und dessen Grün bei der Rückkehr durch die Substanz ausgelöscht worden ist. Ein ähnlicher Process vernichtet bei tiefgrünen Blättern das Roth und sendet dem Auge grünes Licht von dem Innern der Blätter zu.

Alle Körper, auch die durchsichtigsten, absorbiren das Licht mehr oder weniger. Nehmen wir Wasser; in geringen Mengen wirkt es nicht besonders auf das Licht. Ein Glasgefäß mit klarem Wasser, das in den Weg unseres Strahles gestellt wird, verändert keine der Spectralfarben, die der Strahl erzeugt hat, in bemerkenswerther Weise. Und doch ist hier die Absorption, wenn auch noch unsichtbar, eingetreten. Um sie sichtbar wer-

den zu lassen, brauchen wir nur die Dicke der Wasserschicht zu vergrössern, durch die das Licht fällt. Statt eines Gefässes von 1 Zoll Dicke wollen wir eine Schicht von zehn oder fünfzehn Fuss Dicke nehmen, dann ist die Farbe des Wassers sehr auffallend. Vergrössern wir die Dicke, so absorbiren wir mehr Licht, und ist die Dicke sehr gross, so absorbiren wir das Licht vollständig. Lampenruss oder Pech können nicht mehr leisten, und der einzige Unterschied zwischen ihnen und dem Wasser ist der, dass bei ihnen eine sehr geringe Dicke genügt, um das Licht auszulöschen. Der Unterschied zwischen der grössten Durchsichtigkeit und der grössten Undurchsichtigkeit ist nur ein quantitativer.

Wenn wir nun die Wasserschicht so dick machen, dass sie alles Licht auslöscht, und wenn uns vom Innern des Wassers kein Licht erreicht, so haben wir die notwendige Bedingung zur Erzeugung des Schwarz. Sehen wir in den Atlantischen Ocean, so können wir ihm an einzelnen Stellen kaum irgend eine Spur von Farbe zusprechen; höchstens trifft ein Schein von dunkelm Indigo das Auge. Das Wasser ist in der That schwarz, und dieses ist ein Zeichen sowohl seiner Tiefe, als auch seiner Reinheit. Doch verändert sich die Erscheinung gänzlich, sowie der Ocean feste Theilchen in einem Zustand mechanischer Vertheilung enthält, die zum Auge Licht zurückwerfen können.

Werfen Sie z. B. einen weissen Kieselstein in das schwärzeste Atlantische Wasser; sowie er sinkt, wird er grüner und grüner, und ehe er verschwindet, färbt er sich lebhaft blaugrün. Zerschneiden Sie solch einen Kiesel in einzelne Theilchen, so werden sich diese ebenso wie die unzerbrochene Masse verhalten; zermahlen Sie den

Kieselstein zu Pulver, so wird jedes Theilchen sein geringes Maass von Grün abgeben, und sind die Theilchen so klein, dass sie im Wasser schwebend bleiben, so wird das zerstreute Licht gleichmässig grün erscheinen. Daher stammt die grüne Farbe des seichten Wassers. Sie legen sich schlafen, umgeben von dem schwarzen Wasser des Atlantischen Oceans. Sie stehen am Morgen auf und es ist lebhaft grün; daraus schliessen Sie ganz sicher, dass Sie über die Bank von Newfoundland fahren. Man findet, dass dieses Wasser mit fein vertheilter Materie erfüllt ist. Es kann bisweilen auch das Licht vom Grund her mit ins Spiel kommen, doch ist es nicht nöthig. Der Schaum, den das Steuer oder die Schaufelräder eines Dampfboots unter dem Wasser erzeugen, sendet ebenfalls ein lebhaftes Grün aus. Der Schaum giebt hier eine reflectirende Oberfläche ab, das Wasser zwischen ihm und dem Auge das absorbirende Medium.

Nichts kann schöner sein, als das Grün der Wellen des Atlantischen Oceans, wenn die Gelegenheit für die Erzeugung der Farben günstig ist. So lange eine Welle ungebrochen bleibt, zeigt sich keine Farbe, wenn aber der Schaum gerade ihren Rücken, wie ein Schneekamm auf den Alpen, entlang läuft, dann sehen wir oft unter dem Kamme ein Farbenspiel vom schönsten Grün. Es ist metallisch in seinem Glanz. Aber der Schaum gehört mit zu seiner Bildung. Der Schaum wird zuerst beleuchtet und zerstreut das Licht nach allen Richtungen; nur das Licht, das durch die oberen Theile der Welle geht, erreicht das Auge und verleiht diesem Theil seine unvergleichlich schöne Farbe. Das Ueberstürzen der Welle erzeugt eine Reihe von longitudinalen Erhebungen und Senkungen, die wie cylindrische Linsen wirken, Veränderungen in der

Intensität des Lichtes hervorrufen und seine Schönheit bedeutend erhöhen.

Wir sind jetzt für die genauere Betrachtung eines schon berührten Gegenstandes vorbereitet, über den man lange im Irrthum war. Sie werden in vielen Büchern angeführt finden, dass eine Mischung von gelbem und blauem Licht Grün giebt. Wir haben aber eben bewiesen, dass Blau und Grün complementäre Farben sind, die bei ihrer Mischung Weiss geben. Die Mischung von blauen und gelben Farbstoffen erzeugt zweifellos Grün, aber die Mischung von Farbstoffen ist gänzlich verschieden von der Mischung von Spectralfarben.

Helmholtz, der zuerst nachwies, dass Gelb und Blau complementäre Farben sind, hat auch den Grund der grünen Farbe gewisser Farbstoffe angegeben. Keine natürliche Farbe ist rein. Eine blaue Flüssigkeit oder ein blaues Pulver lässt nicht nur das Blau hindurchgehen, sondern auch einen Theil des angrenzenden Grün. Ein gelbes Pulver ist nicht nur für das gelbe Licht durchsichtig, sondern auch theilweise für das angrenzende Grün. Sind nun Blau und Gelb gemischt, so schneidet das Blau das Gelb, das Orange und das Roth ab; auf der andern Seite schneidet das Gelb wieder das Violett, das Indigo und das Blau ab. Grün ist die einzige Farbe, für die beide durchsichtig sind, und die Folge davon ist, dass wenn weisses Licht auf eine Mischung von gelbem und blauem Pulver fällt, das Grün allein zum Auge zurückgeworfen wird. Sie haben schon gesehen, dass das schön blaue schwefelsaure Kupferammoniak eine grosse Menge Grün durchlässt, während es alles weniger brechbare Licht abschneidet. Die gelbe Lösung von Pikrinsäure lässt das Grün auch hindurch, löscht

aber alles brechbarere Licht aus. Was muss geschehen, wenn wir einen Strahl durch beide Flüssigkeiten senden? Die Antwort des Experiments steht vor Ihnen: das grüne Band des Spectrums bleibt allein auf dem Schirm.

Die Unreinheit der natürlichen Farben wird durch eine mir kürzlich von Herrn Woodbury mitgetheilte Beobachtung überraschend klar dargelegt. Als er durch blaues Glas bei Sonnenschein auf grüne Blätter sah, bemerkte er, dass das oberflächlich reflectirte Licht blau sei. Das Licht, das von dem Innern der Blätter kam, war im Gegensatz purpurfarben. Bei genauerer Beobachtung fand ich, dass das bei dieser Untersuchung benutzte Glas beide Enden des Spectrums durchliess, das rothe sowohl als das blaue, und die Mitte auslöschte. Hienach erklärte sich die Wirkung sehr einfach. In dem zarten Frühlingslaub wird das Blau zum grössten Theil absorbirt und ein Licht, das hauptsächlich gelblich grün ist, das aber doch eine grosse Menge Roth enthält, entweicht vom Blatt zum Auge. Sehen wir durch das violette Glas auf solches Laubwerk, so werden Grün und Gelb aufgehalten und das Roth trifft allein das Auge. Sehen wir die Blätter so an, so erscheinen sie wie schwach erröthende Rosen und bieten einen reizenden Anblick dar. Wir können mit dem blauen Kupferammoniaksulfat, das kein Roth durchlässt, diese Wirkung nicht erzielen.

Wie das Jahr fortschreitet, verändert sich das Purpurroth allmählich in Kupferfarbe, und in den dunkelgrünen Blättern des alten Epheu ist es gar nicht mehr vorhanden. Lassen wir einen concentrirten Strahl von weissem Licht auf frische Blätter in einer dunkeln Stube fallen, so ist der plötzliche Wechsel von Grün zu Roth und von Roth zurück auf Grün sehr überraschend, wenn

das violette Glas abwechselnd eingeführt und fortgezogen wird. Durch dasselbe Glas gesehen, erscheinen im Mai die Wiesen wie in warmem Purpur erglühend. Mit einer Lösung von übermangansaurem Kali, die die Mitte des Spectrums auslöscht, aber die Enden freier durchlässt, als das violette Glas, kann man ebenfalls überraschende Erscheinungen hervorrufen ¹⁾).

Die Frage nach den Beziehungen zwischen der Absorption des Lichtes und der Anordnung der Molecüle ist eine der subtilsten und schwierigsten der Physik. Noch sind wir nicht in der Lage, sie zu bewältigen, aber wir werden nach und nach dazu gelangen. Inzwischen können wir mit Nutzen auf das Netz von Beziehungen zurückblicken, das unsere Versuche uns enthüllt haben. Wir haben zuerst im Sonnenlicht ein äusserst zusammengesetztes Agens, welches aus unzähligen verschieden brechbaren Bestandtheilen besteht. Wir finden zweitens die Atome und die Moleküle der Körper mit der Fähigkeit begabt, Sonnenlicht auf die verschiedenste Weise zu sichten und durch diese Sichtung die natürlichen und

¹⁾ Wir haben sowohl in dem Laubwerk als auch in den Blumen überraschende Unterschiede der Absorption. Die Rothbuche und die grüne Buche z. B. nehmen verschiedene Strahlen auf. Der Baum verdankt sein Wachsthum einigen dieser aufgenommenen Strahlen. Sind die chemischen Strahlen die gleichen in der Rothbuche und in der grünen Buche? Sind in zwei Blumen, wie in der Primel und dem Veilchen, deren Absorptionen, nach ihren Farben zu urtheilen, fast complementär sind, die chemisch wirksamen Strahlen dieselben? Die allgemeine Beziehung der Farbe zur chemischen Wirkung dürfte wohl mit Hülfe der Methode, durch die Dr. Draper so endgültig die chemische Wirksamkeit der gelben Strahlen bewies, weiter verfolgt werden.

künstlichen Farben zu erzeugen. Dazu brauchen sie eine Molekularstruktur, die der Zusammengesetztheit des Lichtes selbst entspricht. Dann haben wir drittens das menschliche Auge und Gehirn, die so organisirt sind, dass sie die Menge der so erzeugten Eindrücke aufnehmen und unterscheiden können. Das Licht ist also, wenn es ausstrahlt, zusammengesetzt; um es zu sichten und zu sondern, wie es die Körper in der Natur thun, müssen sie ebenfalls zusammengesetzt sein, während das menschliche Auge und Gehirn, um die so erzeugten Eindrücke in sich aufzunehmen, wenn wir unsere Anschauungen über ihre Thätigkeit¹⁾ auch noch so sehr vereinfachen, doch sehr complicirt sein müssen. — Woher kommt diese dreifache Complication? Wenn nur die Endzwecke, die wir materielle nennen, erreicht werden sollen, so würde ein viel einfacherer Mechanismus genügen. Wir haben aber statt Einfachheit, einen Ueberfluss von Beziehungen und „Anpassungen“ —, wie es scheint, zu dem einzigen Zweck, die Gegenstände im Farbenglanz sehen zu können. Möchte es nicht scheinen, als ob die Natur die Absicht hege, uns zu anderen Genüssen zu erziehen, als zu denen, die allein das Essen und Trinken bieten können? Welche Absicht die Natur auch immer hatte, — und es wäre Vermessenheit, über ihre Absichten zu speculiren — jedenfalls ist das Endresultat ihrer Wirksamkeit, dass wir nicht nur das materiell Nützliche zu geniessen vermögen, sondern auch mit anderen Eigenschaften von unermesslichen Zielen

¹⁾ Young, Helmholtz und Maxwell führen alle Verschiedenheiten der Farbe auf Mischungen der drei Grundfarben in verschiedenen Mengen zurück. Man kann durch das Experiment zeigen, dass durch Roth, Grün und Violett alle anderen Farben des Spectrums erzeugt werden können.

und Anwendungen begabt sind, die nur mit dem Schönen und Wahren zu thun haben.

Anhang.

Sir Charles Wheatstone hat unlängst meine Aufmerksamkeit auf eine Arbeit von Christian Ernst Wunsch, Leipzig 1792, gelenkt, in der der Verfasser die Ansicht ausspricht, dass es weder fünf noch sieben, sondern nur drei einfache Farben im weissen Licht giebt. Wunsch erzeugt fünf Spectra mit fünf Prismen und fünf kleinen Oeffnungen, und er mischt die Farben zuerst paarweise und dann auf eine andere Weise und in anderen Verhältnissen. Er erhält das Resultat, dass Roth eine einfache Farbe ist, die nicht zersetzt werden kann; dass Orange aus intensivem Roth und schwachem Grün gemischt ist; dass Gelb eine Mischung von intensivem Roth und intensivem Grün ist; dass Grün eine einfache Farbe ist; dass Blau aus gesättigtem Grün und gesättigtem Violett besteht; dass Indigo eine Mischung von gesättigtem Violett und schwachem Grün ist, während Violett eine reine einfache Farbe ist. Auch er findet, dass Gelb und Indigoblau bei ihrer Mischung Weiss geben. Gelb und Hochblau geben ebenfalls Weiss, welches indess einen grünlichen Stich zu haben scheint, während die so gefärbten Pigmente bei ihrer Mischung immer ein mehr oder weniger schönes Grün geben. Wunsch unterscheidet sehr nachdrücklich die Mischung der Farbstoffe von der der Spectralfarben. Wo er von der Erzeugung des Gelb spricht, sagt er: „Ich sage ausdrücklich rothes und grünes Licht, weil ich von Lichtfarben und nicht von Pigmenten rede.“ So fehlerhaft die Theorieen von Wunsch auch sein mögen, so scheinen doch seine Experimente im Ganzen präcis und

entscheidend zu sein. Ungefähr zehn Jahre später stellte Young Roth, Grün und Violett als die drei Grundfarben auf, deren jede im Stande sei, drei Empfindungen zu erzeugen, von denen jedoch die eine die beiden anderen überwiege. Helmholtz nimmt diese Ansicht an, erläutert und bereichert sie. (Oeffentliche Vorlesung S. 249. Maxwell's vortreffliche Arbeit über „The Theory of Compound Colours“ ist in den „Philosophical Transactions“ vol. 150, p. 57 publicirt.)

Zweite Vorlesung.

Entstehung physikalischer Theorien. — Wirkung des Vorstellungsvermögens. — Newton und die Emissionstheorie. — Prüfung physikalischer Theorien. — Der Lichtäther. — Wellentheorie des Lichtes. — Thomas Young. — Fresnel und Arago. — Begriff der Wellenbewegung. — Interferenz von Wellen. — Zusammensetzung der Schallwellen. — Analogieen zwischen Schall und Licht. — Beispiele der Wellenbewegung. — Interferenz von Schallwellen. — Optische Darstellungen. — Tonhöhe und Farbe. — Wellenlängen des Lichtes und Schwingungsdauern der Aethertheilchen. — Interferenz des Lichtes. — Erscheinungen, die zuerst auf die Undulationstheorie führten. — Boyle und Hooke. — Die Farben dünner Blättchen. — Die Seifenblase. — Newton'sche Ringe. — Theorie der „Anwandlungen“. — Die Erklärung der Ringe daraus. — Beseitigung dieser Theorie. — Diffraction des Lichtes. — Farben durch Diffraction erzeugt. — Farben der Perlmutter.

Wir könnten unsere Versuche über das Licht bis ins Unendliche vervielfältigen und verändern, und würden dadurch gewiss eine genaue Kenntniss der Erscheinungen erlangen. Wir würden jedoch so nur die Wirkung der Ursache und nicht die Ursache selbst enthüllen. Der menschliche Geist ist aber so geschaffen und gebildet, dass er sich bei der Betrachtung der Naturerscheinungen nie mit einer bloss äusserlichen Erkenntniss derselben

begnügt. Klarheit und Frische erfüllen seinen Geist, wenn ihm die Principien klar werden, die ihm zeigen, dass die Thatsachen in der Natur organisch zusammenhängen.

Lassen Sie uns demnach fragen, was das Agens ist, das wir erzeugt, reflectirt, gebrochen und analysirt haben.

Bei dieser Betrachtung erkennen wir, wie das Leben des experimentirenden Naturforschers ein doppeltes ist. Er lebt gemäss seinem Beruf ein Leben der Sinne und braucht bei seinen Versuchen seine Hände, Augen und Ohren, aber eine Frage, wie die jetzt behandelte, führt ihn über die Grenzen der Sinne hinaus. Er kann die Frage, was Licht ist, nicht untersuchen und noch weniger beantworten, ohne sich in eine Welt zu versetzen, die den Sinnen nicht mehr wahrnehmbar ist und aus der nach festem Gesetz alle optischen Erscheinungen hervorgehen. Um diese übersinnliche Welt, wenn man so sagen darf, sich vorzustellen, muss der Geist ein gewisses Vorstellungsvermögen besitzen. Er muss die Fähigkeit haben, sich bestimmte Bilder von den Dingen, die diese übersinnliche Welt enthält, zu gestalten, und wenn ein solcher Zustand der Dinge in jener Welt besteht, dann müssen die Erscheinungen, die in unserer sinnlichen Welt auftreten, nothwendigerweise aus jenem Zustand der Dinge hervorgehen. Ist das Bild richtig, so sind die Erscheinungen erklärt; eine physikalische Theorie ist gegeben, die sie alle verbindet und vereint.

Dieses Ersinnen einer physikalischen Theorie bedingt also, wie Sie sehen, eine Arbeit der Einbildungskraft. Fürchten Sie sich nicht vor diesem Wort, das so vielen urtheilsfähigen Leuten sowohl in als ausser den Reihen der Wissenschaften unbehaglich ist. Dass Gelehrte so fühlen können, ist wohl nur ein Beweis, dass sie sich von

der volksthümlichen Deutung dieser Begabung habe irreführen lassen, statt ihre Wirkung auf ihren eigenen Geist zu beobachten. Ohne Einbildungskraft können wir keinen Schritt jenseits der Grenze der rein animalischen Welt thun, ja selbst kaum bis zu ihrer Grenze. Wenn ich aber so von der Einbildungskraft spreche, so meine ich damit nicht jene zügellose Kraft, die willkürlich mit den Thatsachen umspringt, sondern die gut geordnete und geschulte Kraft, deren einzige Aufgabe es ist, die Begriffe zu bilden, die der Geist gebieterisch verlangt. Eine so geübte Einbildungskraft trennt sich eigentlich nie von dem Reich der Thatsachen. Dieses ist die Vorrathskammer, aus der sie alle ihre Bilder entnimmt, und der Zauber ihrer Kunst besteht nicht darin, dass sie die Dinge neu schafft, sondern dass sie die Grösse, den Ort und die anderen Beziehungen der sinnlichen Dinge so abändert, wie sie den Forderungen des Geistes in der übersinnlichen Welt entspricht¹⁾.

¹⁾ Die folgende interessante Notiz, die sich auf diesen Punkt bezieht, wurde von meinem tiefbetrauten Freund Dr. Bence Jones, frühern Secretair der Royal Institution, aufgefunden und für mich abgeschrieben. „Für jede Classe von Grössen giebt es ein bestimmtes Maass oder eine Art, der unsere Sinne angepasst sind und deren Erkenntniss der Menschheit vom grössten Nutzen ist. Dies ist die Grundlage der Philosophie; denn obgleich alle Maasse und Arten gleichmässig das Object der philosophischen Speculation sind, so muss doch der Philosoph von denjenigen, die den Sinnen entsprechen, bei seinen Fragen ausgehen und nachher auf- oder absteigen, wie seine Folgerungen es verlangen. Er thut wohl daran, wenn er von verschiedenen Gesichtspunkten ausgeht und die Mängel der Sinne durch eine wohlgeordnete Einbildungskraft ergänzt; auch darf er sich nicht durch irgend eine Grenze von Raum oder Zeit beschränken lassen, sondern er muss, da seine Kenntniss der Natur sich auf die Beobachtung sinnlicher Gegenstände gründet, mit diesen anfangen und oft auf sie zurückgehen, um an ihnen seinen Fortschritt zu ermessen. Hier hat er den sichern

Descartes dachte sich den Raum mit einem Agens erfüllt, das das Licht momentan fortführte. Zunächst, weil bei seinem Versuch keine messbare Zeit beobachtet werden konnte zwischen dem Aufleuchten eines sehr entfernten Lichtes und seiner Wirkung auf das Bewusstsein, und zweitens, weil, so weit seine Erfahrung reichte, keine physikalische Kraft ohne einen Träger von Ort zu Ort fortgepflanzt wird. Seine Einbildungskraft half sich aber mit Vorstellungen, die der wirklichen Welt entnommen waren. „Wenn man“, sagte er, „mit einem Stab in der Hand in der Dunkelheit geht und das Ende des Stabes auf ein Hinderniss stösst, so fühlt es die Hand in demselben Augenblick. Dies erklärt, was uns sonst sonderbar erscheinen könnte, dass das Licht der Sonne uns momentan erreicht. Ich wünsche, dass Du glaubst, dass das Licht in den Körpern, die wir leuchtende nennen, nichts weiter als eine sehr schnelle und heftige Bewegung ist, die vermittelst der Luft und anderer durchsichtiger Medien ebenso zum Auge fortgepflanzt wird, wie der Stoss durch den Stock die Hand eines blinden Mannes erreicht. Dies tritt momentan ein, und würde es auch noch, wenn die zwischenliegende Entfernung noch grösser wäre, als die zwischen Himmel und Erde. Es ist demnach ebenso wenig nöthig, dass irgend etwas Materielles von dem leuchtenden Körper das Auge erreicht, als dass Etwas von der Erde zu der Hand des blinden Mannes gesandt wird, wenn er den Stoss seines Stabes fühlt.“ Der berühmte Robert

Halt; und wie er von dort ausgeht, so muss er gleichfalls oft seine Schritte wieder darauf vorsichtig rückwärts lenken, sonst steht er in Gefahr, seinen Weg in dem Labyrinth der Natur zu verlieren.“ (Maclaurin: *An Account of Sir J. Newton's Philosophical Discoveries*. Written 1728; second edition, 1750; pp. 18, 19.)

Hooke zweifelte zuerst an dieser Anschauung von Descartes, nahm sie aber später als richtig an. Der Glaube an eine momentane Uebertragung wurde durch die in unserer letzten Vorlesung erwähnte Entdeckung Roemer's umgestossen.

Newton bietet uns ein noch besseres Beispiel dafür, wie wir bei der Aufstellung physikalischer Theorien unser Material aus der wirklichen Welt entnehmen. Ehe er sich mit dem Licht beschäftigte, hatte er die Gesetze des elastischen Stosses, den Sie Alle mehr oder weniger deutlich auf einem Billard beobachten können, auf das Genaueste untersucht. Newton wusste, dass bei dem Zusammenstoss realer Massen der Einfallswinkel gleich dem Reflexionswinkel ist, und er wusste, dass auch für das Licht nach dem Experiment, wie wir es in der letzten Vorlesung (Fig. 3) gezeigt haben, dasselbe Gesetz gilt. Er fand so in seinem frühern Wissen den Stoff zu seinen theoretischen Bildern. Er brauchte nur die Grösse der Vorstellungen, die bereits in seinem Geiste existirten, zu verändern, um zur Emissionstheorie des Lichtes zu gelangen. Er nahm an, dass das Licht aus elastischen Theilchen von fast undenkbarer Kleinheit bestände, die mit der nöthigen Geschwindigkeit von den leuchtenden Körpern fortgeschossen würden. Trafen dann solche Theilchen auf glatte Oberflächen, so wurden sie nach dem gewöhnlichen Gesetz des elastischen Stosses reflectirt. Die optische Reflexion trat demnach ebenso auf, wie wenn das Licht aus solchen Partikeln bestände, und dies war Newton's einzige Rechtfertigung für die Annahme ihrer Existenz.

Aber dies ist noch nicht Alles. Noch in einem andern wichtigen Punkt wurden Newton's Vorstellungen über die Natur des Lichtes durch sein früheres Wissen beeinflusst. Er hatte über die Erscheinungen der Gravitation

nachgedacht und sich mit der Wirkung dieser universellen Kraft vertraut gemacht. Vielleicht beschäftigten diese Vorstellungen seinen Geist noch zu lebhaft, als dass er sich ein unbefangenes Urtheil über die Natur des Lichtes hätte bilden können. Aber wie dem auch sein mag, Newton sah in der Brechung des Lichtes die Wirkung einer auf die Lichtpartikel ausgeübten anziehenden Kraft. Er führte diese Anschauung mit der strengsten Consequenz durch. Wenn ein Körper in verticaler Richtung gegen die Oberfläche der Erde fällt, so wird seine Bewegung mit der Annäherung an die Erde beschleunigt. Trafen die Lichtpartikel auf dieselbe Weise gegen eine horizontale Ebene, etwa Luft, oder Glas oder Wasser, so wurde ihre Geschwindigkeit, wenn sie dicht an die Oberfläche kamen, nach Newton auf dieselbe Weise beschleunigt. Näherten sie sich aber der Oberfläche in schräger Richtung, so nahm er an, dass wenn die Theilchen ihr nahe kämen, sie ebenso zu ihr hingezogen würden, wie ein Geschoss durch die Schwerkraft zu der Erde. Diese Ablenkung ist, nach Newton, die in unserer letzten Vorlesung (Fig. 4) betrachtete Brechung. Endlich nahm er an, dass die Verschiedenheit der Farbe von der verschiedenen Grösse der Theilchen herrühren könnte. Dies war die von Newton aufgestellte und vertheidigte physikalische Theorie des Lichtes, und Sie sehen, wie sie in einer einfachen Uebertragung der Vorstellungen aus der sinnlichen Welt in eine übersinnliche besteht.

Aber obgleich das Gebiet der physikalischen Theorie jenseits der Welt der Sinne liegt, so muss doch die Theorie in dieser Welt verificirt werden. Nehmen wir die theoretische Vorstellung als Grundlage an, so müssen wir durch strenge Deduction die Phänomene ableiten, die sich nothwendig aus ihr entwickeln. Stimmen die so abge-

leiteten Erscheinungen mit den wirklich beobachteten überein, so wächst die Wahrscheinlichkeit der Theorie. Findet sich, dass, wenn neue Classen von Phänomenen entdeckt werden, auch diese mit der Theorie übereinstimmen, so wird sie noch wahrscheinlicher. Verleiht endlich die Theorie dem Forscher einen prophetischen Blick, so dass er Phänomene vorhersagt, die noch nie beobachtet worden sind, und erweisen sich diese Vorhersagungen beim Versuch als richtig, so wird die Ueberzeugung von der Richtigkeit der Theorie überwältigend.

So erwirbt sich der Geist, indem er von einer begrenzten Anzahl Erscheinungen rückwärts schliesst, durch seine eigene verallgemeinernde Kraft einen Begriff, der alle Erscheinungen in sich schliesst. Es giebt wohl keine wunderbarere Begabung des Geistes, als die eben besprochene, wir können uns aber nicht davon Rechenschaft geben. Wie von dem Geist der Heiligen Schrift kann Niemand von ihr sagen, woher sie kommt. Der Uebergang von der That-
sache zum Princip ist manchmal langsam, manchmal schnell, aber stets ist er eine Quelle geistiger Freude. Ist er schnell, so ist die Freude besonders gross und wird eine Art von Exstase oder Rausch. Jedem, der dies Vergnügen, wenn auch in geringerem Maasse, empfunden hat, wird das Benehmen des Archimedes, der das Bad verliess und mit dem Ruf „Eureka!“ unbekleidet durch die Strassen von Syrakus lief, verständlich werden.

Wie steht es nun mit der Emissionstheorie, wenn die aus ihr gezogenen Schlüsse mit den Erscheinungen in der Natur verglichen werden? Man fand, als sie durch den Versuch geprüft wurde, dass sie manche Erscheinungen erklärte, und ihr Schöpfer suchte sogar mit genialem Scharfsinn alle optischen Erscheinungen daraus abzuleiten. Es gelang ihm dies so gut, dass hoch berühmte

Männer wie Laplace und Malus, der bis 1812 lebte, und Biot und Brewster, die noch unsere Zeitgenossen waren, zu seinen Anhängern gehörten.

Indess schon unmittelbar nach der Aufstellung der Emissionstheorie traten ein oder zwei grosse Männer dagegen auf, und sie bieten ein weiteres Beispiel für das Gesetz, dass, wenn man Theorieen aufstellt, die wissenschaftliche Einbildungskraft ihr Material aus der Welt der Thatsachen und der Erfahrung entnehmen muss. Man wusste seit lange, dass der Schall in Wellen oder Stössen durch die Luft fortgepflanzt wird, und sowie der Geist sich mit dieser Wahrheit vertraut gemacht hatte, wurde sie zu einer theoretischen Vorstellung umgearbeitet. Man nahm an, dass das Licht, wie der Schall, die Wirkung einer Wellenbewegung sein könnte. Aber was konnte in diesem Fall der Stoff sein, der die Wellen bildete? Für die Schallwellen haben wir die Luft unserer Atmosphäre; aber die Vorstellung, die den ganzen Weltraum mit Lichtäther erfüllte, der in den Lichtwellen erzitterte, war zu kühn, als dass sie nicht bei ängstlichen Gemüthern Anstoss erregt hätte. In einer meiner letzten Unterredungen mit Sir David Brewster sagte er mir, sein Haupteinwurf gegen die Undulationstheorie sei, dass er sich nicht denken könne, der Schöpfer habe sich eines so rohen Auskunftsmittels bedient, den Raum mit Aether zu füllen, um dadurch Licht zu erzeugen. Das ist in der That ein sehr gefährlicher Boden; der wissenschaftliche Streit mit Sir David über diesen Punkt und mit manchen achtungswerthen Männern über ähnliche Punkte beruht nur darauf, dass sie zu viel von den Absichten des Schöpfers zu wissen meinen.

Die Vorstellung von einem Lichtäther wurde von dem berühmten Astronomen Huyghens befürwortet und wirk-

lich auch auf verschiedene optische Erscheinungen angewandt. Sie wurde von dem berühmten Mathematiker Euler angenommen und vertheidigt. Newton indess trat dagegen auf, und seine Autorität schlug sie damals zu Boden. Sollen wir sagen, es sei seine Autorität allein gewesen? Nicht ganz. Newton's Uebergewicht schrieb sich zum Theil davon her, dass, obgleich Huyghens und Euler in der Hauptsache im Recht waren, sie doch nicht genügende Data hatten, um zu beweisen, dass sie recht hätten. Es kann sich keine menschliche Autorität, und wenn sie auch noch so hoch dasteht, gegen die Stimme der Natur, die durch den Versuch spricht, behaupten. Die Stimme der Natur kann aber aus Mangel an Daten unsicher sein. Und dies war in der jetzt besprochenen Zeit der Fall, und in einer solchen Zeit mussten natürlich alle Gegner der Autorität Newton's unterliegen.

Und doch glich diese grosse Emissionstheorie, die das Feld so lange behauptete, einem von jenen Kreisen, die nach dem Ausspruch Emerson's die Gewalt des Genies periodisch um die Arbeiten des Geistes zieht, die aber doch zuletzt durch allmählichen Druck glücklich durchbrochen werden. Im Jahre 1773 wurde in Milveston in Somersetshire einer der merkwürdigsten Männer geboren, die England je erzeugt hat. Er wurde für den Beruf eines Arztes herangebildet, aber er war geistig zu rege, um sich durch seine Berufsthätigkeit binden zu lassen. Er widmete sich dem Studium der Naturwissenschaften und wurde ein Meister auf allen ihren Gebieten. Er war auch ein Meister in der Literatur. Er beherrschte alte und neue Sprachen und, um mit den Worten seiner Grabschrift zu reden, „er durchdrang zuerst die Finsterniss, die seit Jahrhunderten die Hieroglyphen Aegyptens verhüllte.“

Ihm gelang es, optische Thatsachen zu entdecken, für deren Erklärung Newton's Theorie nicht ausreichte, und sein Geist suchte nach einer genügenden Theorie. Er war mit allen Erscheinungen der Wellenbewegung, mit allen Erscheinungen des Schalls vertraut; er arbeitete auf diesem Gebiete erfolgreich als selbständiger Forscher. So vorgebildet und geschult war er auch vorbereitet, die leiseste Aehnlichkeit, die sich zwischen den Erscheinungen des Lichtes und denen der Wellenbewegung zeigte, zu bemerken. Und er bemerkte solche Aehnlichkeiten; durch diese Entdeckung angefeuert, setzte er seine Speculationen und seine Versuche fort, bis es ihm endlich gelang, die Undulationstheorie des Lichtes auf eine feste Basis zu stellen.

Der Gründer dieser grossen Theorie war Thomas Young, ein Name, der vielen unter Ihnen vielleicht fremd ist, der Ihnen Allen aber bekannt sein sollte. Erlauben Sie mir, Ihnen durch eine geometrische Construction, die ich schon einmal in London anzuwenden wagte, einen Begriff von der Grösse dieses Mannes zu geben. Newton stehe aufrecht in seiner Zeit und Young in der seinigen; ziehen Sie eine gerade Linie von Newton zu Young, die die Häupter der beiden Männer berührt. Die Linie würde sich von Newton nach Young zu etwas senken, denn Newton war sicherlich der Grössere von beiden. Aber die Neigung würde nur schwach sein, denn der Unterschied der Grösse war nicht bedeutend. Die Linie würde, was die Ingenieure eine kleine Steigung nennen, von Young nach Newton bilden. Stellen Sie unter diese Linie den grössten Mann, der in der Zwischenzeit zwischen diesen Männern geboren worden ist. Es ist zu bezweifeln, ob er die Linie berühren könnte, denn wenn er es könnte, so stände er geistig höher, als Young, und wahr-

scheinlich existirt kein grösserer Mann. Ich verlange aber nicht, dass Sie sich auf die Schätzung von Young durch Engländer verlassen sollen; der Deutsche Helmholtz, ein ihm verwandter Genius, spricht sich so über ihn aus¹⁾: „Er war einer der scharfsinnigsten Männer, die je gelebt haben, hatte aber das Unglück, seinen Zeitgenossen an Scharfsinn weit überlegen zu sein. Sie staunten ihn an, aber konnten dem kühnen Fluge seiner Combinationen nicht überall folgen, und so blieb eine Fülle seiner wichtigsten Gedanken in den grossen Folianten der königlichen Gesellschaft von London vergraben und vergessen, bis eine spätere Generation im langsamen Fortschritte seine Entdeckungen wieder entdeckte und sich von der Richtigkeit und Beweiskraft seiner Schlüsse überzeugte.“

Es ist ganz richtig, wie Helmholtz sagt, Young war seiner Zeit voraus; aber etwas muss ich doch noch hinzufügen, was uns einen Blick in die grosse Verantwortlichkeit unserer Zeitungsschreiber thun lässt. Zwanzig Jahre lang wurde dieser geniale Mann unterdrückt — verborgen vor dem anerkennenden Geiste seiner Landsleute — für einen Träumer gehalten, in Folge der leidenschaftlichen Kritik eines Schriftstellers, der damals das Ohr des Publicums besass und der in der „Edinburgh Review“ Young und seine Speculationen lächerlich machte. Young verdankte erst den berühmten Franzosen Fresnel und Arago seine endliche Anerkennung, denn diese, besonders Fresnel, wiederholten unabhängig, wie Helmholtz sagt, seine Entdeckungen und erweiterten sie bedeutend. Young war denjenigen, die sich mit dem Studium seiner Werke beschäftigten, längst in seinem wahren Licht erschienen, aber diese zwanzig öden Jahre brachten ihn aus dem

¹⁾ Helmholtz, Populäre wissenschaftliche Vorträge, S. 47.

Gedächtniss des Publicums, das von dem Ruhm Davy's, Young's Collegen an der Royal Institution, und nachher von dem Ruhm Faraday's überströmte. Carlyle erwähnt eine Bemerkung von Novalis, dass sich das Selbstvertrauen eines Mannes unverhältnissmässig von dem Moment an steigert, wo andere an ihn glauben. Trifft die umgekehrte Ansicht auch zu — ist es wahr, dass der Unglaube des Publicums die Kraft eines Mannes schwächt — wie unberechenbar wäre da die Grösse des Schadens, den diese zwanzig Jahre der Vergessenheit der Productivität Young's als Forscher gethan haben mögen. Bemerken müssen wir noch, dass sein Widersacher Mr. Henry Brougham, nachheriger Lord Kanzler von England war.

Unsere schwierigste Aufgabe liegt noch vor uns. Da aber die Möglichkeit, eine schwere Arbeit zu leisten, zum grossen Theil vom guten Willen abhängt, so möchte ich Sie bitten, sich auf unsere kommende Arbeit vorzubereiten. Gelingt es uns, den Hügel zu ersteigen, der sich heute Abend vor uns aufthürmt, so werden die künftigen Schwierigkeiten auch nicht unüberwindlich sein.

Wir finden in den frühesten Aufzeichnungen der Alten die Ansicht ausgesprochen, dass der Schall durch die Luft fortgepflanzt werde. Aristoteles spricht diese Ansicht aus, und der grosse Architekt Vitruvius vergleicht die Schallwellen mit den Wasserwellen. Der eigentliche Mechanismus der Wellenbewegung war aber doch den Alten verborgen und wurde erst zu Newton's Zeit vollständig enthüllt. Die Hauptschwierigkeit lag in der Unterscheidung der Bewegung der Welle selbst und der Bewegung der Theilchen, die in jedem Augenblick die Welle bilden.

Stellen Sie sich an den Meeresstrand und beobachten Sie die heranrollenden Wellen, ehe sie durch die Reibung an dem Boden verzerrt werden. Jede Welle hat eine Rück- und Vorderseite, und wenn Sie recht deutlich das Bild der rollenden Welle erfassen, so werden Sie sehen, dass jedes Wassertheilchen an der Vorderseite der Welle aufsteigt, während jedes an der Rückseite abwärts sinkt. Die Theilchen der Vorderseite erreichen nach einander den Kamm der Welle und beginnen abwärts zu fallen, sowie sie drüber hinaus sind. Sie erreichen dann das Wellenthal und können nicht tiefer sinken. Gleich nachher werden sie wieder zur Vorderseite der folgenden Welle, steigen wieder bis zum Wellenberg und sinken wie vorher. So werden die einzelnen Theilchen, während die Welle horizontal weiter rollt, nur einfach vertical auf- und abbewegt. Beobachten Sie eine schwimmende Möve oder, wenn Sie selbst schwimmen können, überlassen Sie sich dem Spiel der Wellen, Sie werden nicht weitergetragen, sondern nur auf- und abgewiegt. Die Fortpflanzung einer Welle ist die Fortpflanzung einer Form, und nicht die Uebertragung der Substanz, aus der die Welle besteht.

Die Länge der Welle ist die Entfernung von einem Berg zum andern, während man die Entfernung, durch die jedes einzelne Theilchen schwingt, die Schwingungsweite nennt. Wollen Sie bei dieser Beschreibung bemerken, dass die Wassertheilchen senkrecht zur Fortpflanzungslinie (transversal) schwingen ¹⁾.

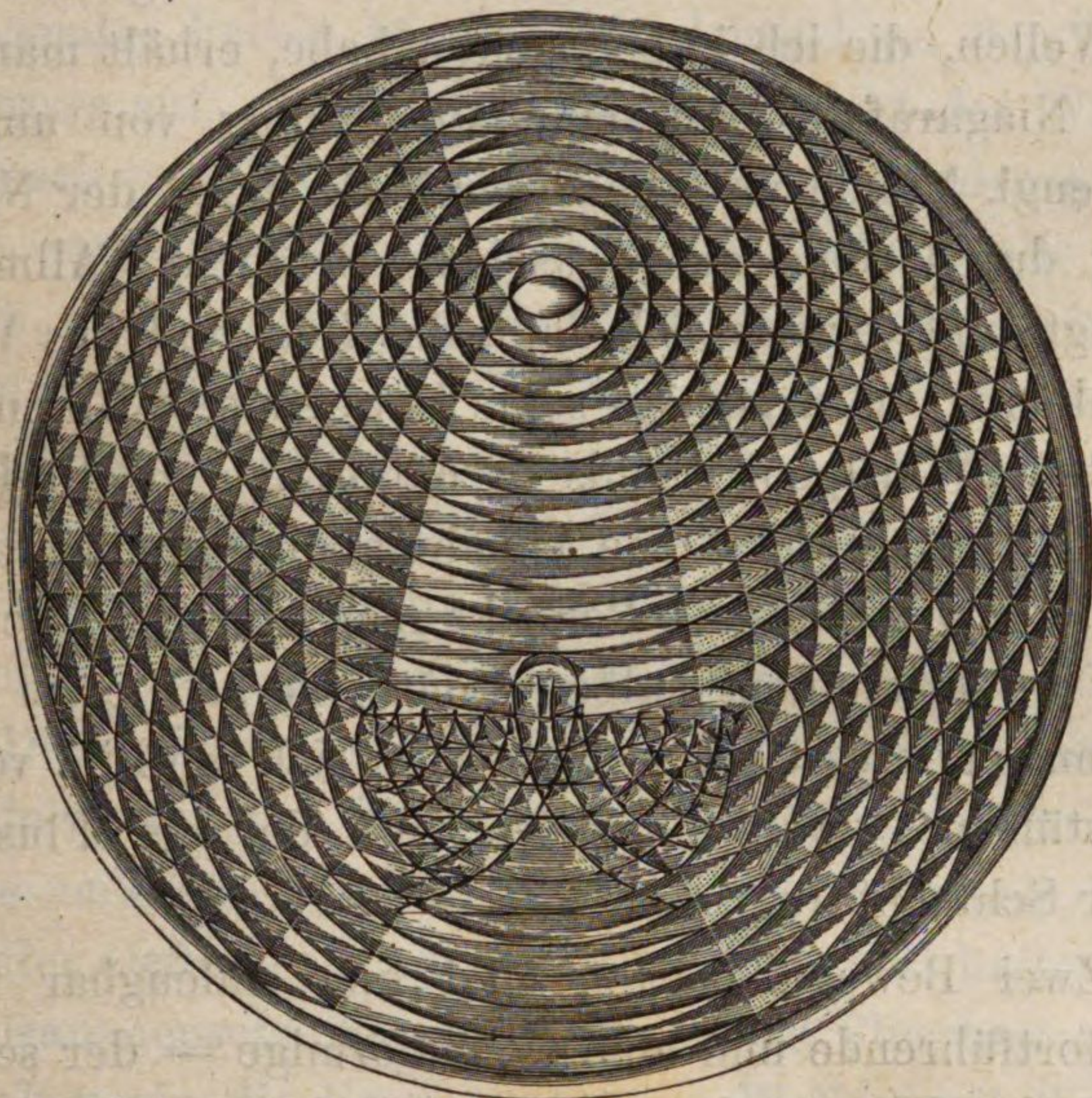
¹⁾ Ich möchte hier nicht das Verständniss mit den Details der Bewegung erschweren, aber ich kann die Aufmerksamkeit auf das schöne Modell von Prof. Lyman lenken, welches nachweist, dass die Wellen durch die kreisförmige Bewegung der Theilchen erzeugt werden. Diese ist, wie die Brüder Weber bewiesen haben, die eigentliche, wahre Bewegung in den Wasserwellen.

Wir müssen jetzt einen Schritt vorwärts gehen, den wichtigsten Schritt. Sie können sich zwei Wellenreihen denken, die von verschiedenen Quellen aus sich durch dasselbe Wasser bewegen. Wenn Sie z. B. zwei Steine in ruhiges Wasser werfen, so durchschneiden sich die Wellenringe, die von den beiden Centralpunkten der Störung ausgehen. Nun ist es gleichgültig, wie viele dieser Wellen vorhanden sind, das Gesetz bleibt bestehen, dass die Bewegung jedes einzelnen Wassertheilchens die algebraische Summe aller ihm mitgetheilten Bewegungen ist. Wenn der Berg mit dem Berg und das Thal mit dem Thal zusammenfällt, so wird die Welle zur doppelten Höhe über ihre tiefste Stelle erhoben; fällt aber das Thal mit dem Berg zusammen, so sind die Bewegungen entgegengesetzt und ihre Summe ist Null. Dann haben wir ruhiges Wasser, welches, wie wir gleich hören werden, dem entspricht, was wir in Bezug auf unseren jetzigen Gegenstand Dunkelheit nennen. Dieser Einfluss von der Welle auf die Welle wird Interferenz genannt, ein Ausdruck, den wir uns merken müssen.

Es kann für das Auge derjenigen, die mit diesen Gesetzen vertraut sind, nichts Interessanteres als die Kreuzung der Wasserwellen geben. Durch die Interferenz der Wellen wird die zwischenliegende Oberfläche oft in das schönste Mosaik zerlegt, das rhythmisch erzittert, wie sichtbare Musik. Werden Wellen geschickt in einer mit Quecksilber gefüllten Schale erzeugt, so zeigt uns ein helles Licht, das auf die leuchtende Oberfläche geworfen und von dort auf einen Schirm reflectirt wird, die Bewegungen des flüssigen Metalls. Die Form der Schale bestimmt die Formen der erzeugten Figuren. In einem runden Gefäße z. B. pflanzt sich eine Störung im Mittelpunkt als eine Reihe kreisförmiger Wellen fort, die nach der Re-

flexion am Rande wieder im Centrum zusammentreffen. Liegt der Störungspunkt etwas seitlich vom Centrum, so erzeugt die Interferenz der directen und reflectirten Wellen das prachtvolle Durcheinanderfliessen, wie in der beigefügten Figur 10¹⁾. Das von einer solchen Oberfläche zurückge-

Fig. 10.



worfene Licht giebt ein Bild von ausserordentlicher Schönheit. Wird das Quecksilber von einer Nadelspitze in einer der Oberfläche des Gefässes concentrischen Linie leicht berührt, so laufen die Lichtlinien in einem labyrinthischen Netzwerk herum, indem sie sich in wunderbarer Weise durcheinander schlingen und wieder von einander lösen. Ist das Gefäss viereckig, so entsteht durch das Kreuzen der directen und reflectirten Wellen ein pracht-

¹⁾ Weber's Wellenlehre entnommen.

volles Tafelwerk. Die Worte Ihres Landsmanns, des Amerikaners Emerson, passen ausgezeichnet hierher:

„Thou can 'st not wave thy staff in the air,
Or dip thy paddle in the lake,
But it carves the brow of beauty there,
And the ripples in rhymes the oars forsake.“

Die klarste Vorstellung von der Wirkung der Wellen auf Wellen, die ich je beobachtet habe, erhält man nahe beim Niagarafall. Auf eine Entfernung von ungefähr zwei engl. Meilen unterhalb der Fälle fliesst der Niagara ruhig durch seine ausgewaschene Schlucht. Allmählich verengt und vertieft sich dann das Bett und das Wasser beschleunigt naturgemäss seine Bewegung. An den sogenannten „Whirlpool Rapids“ schätzte ich die Breite des Flusses auf 300 Fuss, eine Annahme, die mir die dortigen Bewohner bestätigten. Bedenkt man, dass die Bewässerung von fast einem halben Continent in diesem Raum zusammengepresst ist, so kann man sich ein Bild von der ungestümen Gewalt entwerfen, mit der der Fluss aus dieser Schlucht ausströmt.

Zwei Bewegungsarten sind hier unleugbar thätig, eine fortführende und eine wellenförmige — der schnelle Strom des Flusses durch die Schlucht und die grossen Wellen, die durch seine Berührung mit den in seinem Wege liegenden Hindernissen entstehen. Der Sturz und das Hin- und Herschleudern des Wassers ist in der Mitte des Stromes am heftigsten; auf jeden Fall tritt hier die gewaltige Kraft der einzelnen Wellen am klarsten hervor. Grosse pyramidale Massen springen unaufhörlich vom Wasser auf, einige mit solcher Macht, dass sie ihre Spitzen in die Luft werfen, in der sie als Bündel von flüssigen Perlen schweben, die, wenn die Sonne sie bescheint, in unsagbarer Schönheit erglänzen.

Der erste Eindruck und in der That auch die landläufige Erklärung dieser Schnellen ist, dass das mittlere Bett des Flusses mit grossen Steinmassen erfüllt und das Stossen, Schleudern und wilde Aufspritzen des Wassers daselbst dem Anprall gegen diese Hindernisse zuzuschreiben sei. Mir eröffnete sich an der Stelle selbst eine ganz andere Erklärung. Steinmassen von den angrenzenden Felsen häufen sich sichtlich an den Ufern des Flusses auf. An diesen steigt und sinkt das Wasser rhythmisch und heftig auf und ab, und es werden grosse Wellen erzeugt. Bei der Erzeugung jeder Welle tritt sogleich eine Vereinigung der Wellenbewegung mit der Bewegung des Flusses ein. Die Kämme, die sich in ruhigem Wasser in kreisförmigen Curven um den Mittelpunkt der Störung ziehen würden, schneiden den Fluss in schrägen Linien und die Folge ist, dass sich im Centrum Wellen vermischen, die eigentlich an den Seiten erzeugt worden sind. Dieses Kreuzen der Wellen kann man in kleinem Maassstabe in jeder Rinne nach dem Regen sehen; man kann es auch sehen, wenn man Wasser aus einem Krug mit weiter Oeffnung ausgiesst. Im ersten Fall hatten wir eine Zusammensetzung von Wellen- und Flussbewegung; hier haben wir die Vereinigung von Wellen mit Wellen. Wo Berg und Thal sich kreuzen, wird die Bewegung aufgehoben; wo Thal und Thal sich kreuzen, wird der Fluss tiefer aufgewühlt, und wo Berg und Berg sich unterstützen, sehen wir den überraschenden Sprung des Wassers, der die Cohäsion der Berge bricht und sie zersprengt in die Lüfte schleudert. Die bei den Whirlpool Rapids beobachtete Erscheinung giebt eins der grossartigsten Beispiele des Interferenzgesetzes.

Die fundamentale Entdeckung von Thomas Young auf dem Gebiet der Optik war, dass das Gesetz der Interferenz auch auf das Licht anzuwenden ist. Lange vor seiner Zeit hatte ein italienischer Naturforscher, Grimaldi, gefunden, dass zwei dünne Lichtstrahlen, wenn sie einzeln wirkten, einen leuchtenden Fleck auf der Wand erzeugten, wenn sie aber unter gewissen Bedingungen vereint wirkten, sich gegenseitig auslöschten und den Fleck verdunkelten. Dies war eine sehr wichtige Beobachtung, aber es bedurfte der Entdeckungen und des Genius von Young, um ihr eine Bedeutung zu geben. Der Gang seiner Forschungen wird Ihnen allmählich klar werden. Sie wissen, dass man Luft zusammenpressen kann; dass sie durch Druck verdichtet und durch Ausdehnung dünner gemacht werden kann. Schlagen wir eine Stimmgabel an, so kann ihr Ton von Ihnen Allen gehört werden, und viele von Ihnen wissen, dass die Luft, durch die der Schall geht, in Räume getheilt ist, in denen die Luft verdichtet ist, denen wieder Räume folgen, in denen die Luft verdünnt ist. Diese Verdichtungen und Verdünnungen bilden die Schallwellen. Sie können sich denken, dass die Luft eines Zimmers von einer Reihe solcher Wellen durchschnitten wird, und Sie können sich denken, dass eine zweite Reihe durch dieselbe Luft hindurchgeht und in einem solchen Verhältniss zu der ersten steht, dass Verdichtung mit Verdichtung und Verdünnung mit Verdünnung übereinstimmt. Als Folge eines solchen Zusammenfallens würde ein lauterer Schall entstehen, als der, den jedes einzelne dieser Wellensysteme erzeugte. Aber Sie können sich auch einen Zustand denken, wo die Verdichtungen des einen Systems auf die Verdünnungen des andern fallen. In diesem Fall würden sich die beiden Systeme vollkommen neutralisiren. Jedes System für sich genommen, erzeugt einen Schall; beide

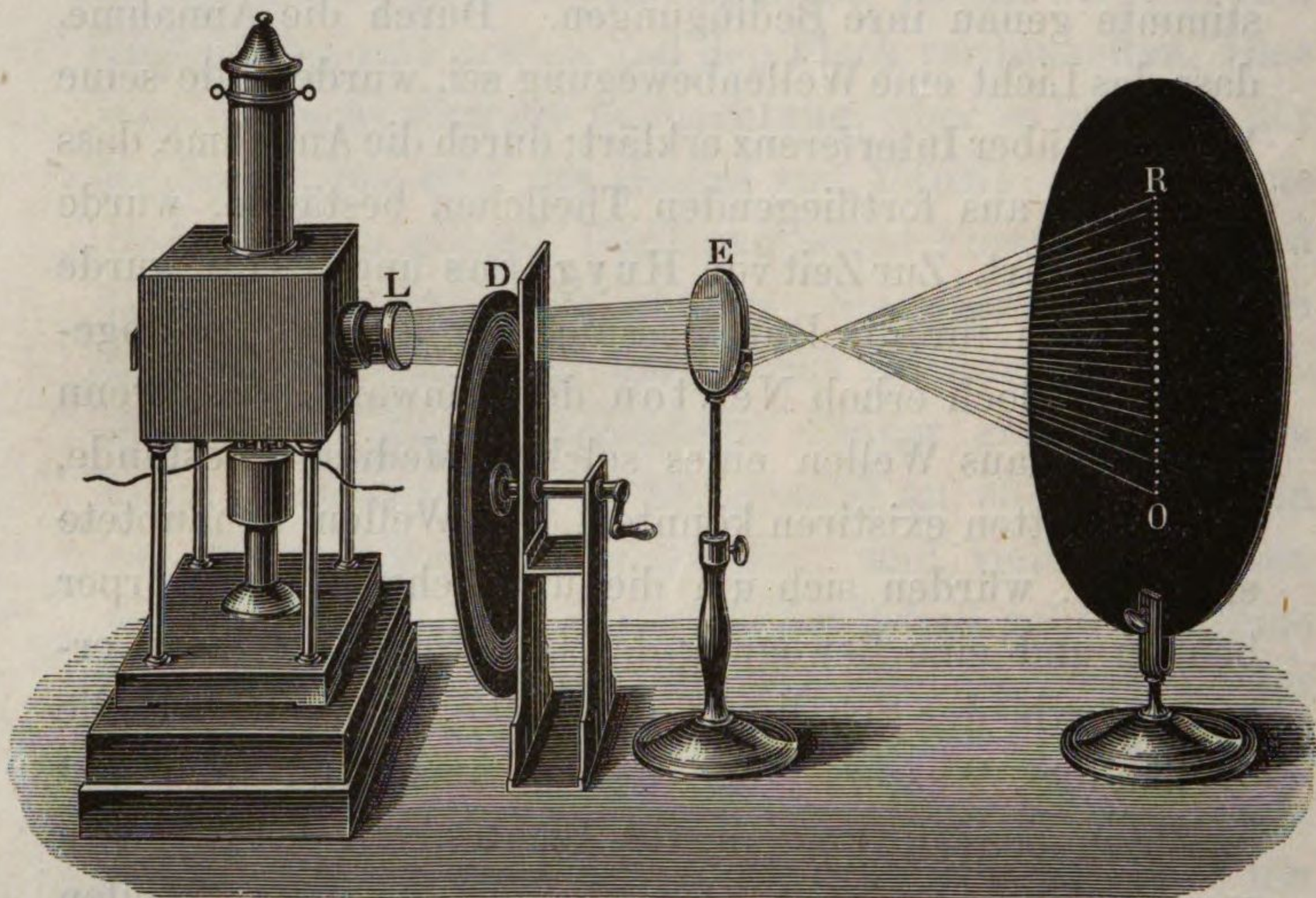
zusammen erzeugen keinen Schall. So erzeugen wir also Ruhe, wenn wir Schall zu Schall addiren, wie Grimaldi bei seinen Versuchen, als er Licht zu Licht addirte, Finsterniss erzeugte.

Hierdurch wird die Analogie zwischen Schall und Licht klar. Young verallgemeinerte diese Beobachtung. Er entdeckte eine Menge von ähnlichen Fällen und bestimmte genau ihre Bedingungen. Durch die Annahme, dass das Licht eine Wellenbewegung sei, wurden alle seine Versuche über Interferenz erklärt; durch die Annahme, dass das Licht aus fortfliegenden Theilchen bestände, wurde nichts erklärt. Zur Zeit von Huyghens und Euler wurde ein Medium für die Durchlassung der Lichtwellen angenommen; doch erhob Newton den Einwand, dass wenn das Licht aus Wellen eines solchen Mediums bestände, keine Schatten existiren könnten. Die Wellen, behauptete er ferner, würden sich um die undurchsichtigen Körper beugen und eine Bewegung des Lichtes hinter ihnen erzeugen, wie der Schall um eine Ecke geht oder wie die Wellen des Wassers einen Felsen umspülen. Man hat bewiesen, dass die Beugung des Lichtes, von der Newton spricht, wirklich eintritt, dass aber die gebeugten Wellen sich durch ihre gegenseitige Interferenz vernichten. Young fand auch einen fundamentalen Unterschied zwischen den Licht- und Schallwellen. Könnten Sie die Luft sehen, durch welche Schallwellen hindurchgehen, so würden Sie beobachten, wie jedes einzelne Lufttheilchen in der Richtung der Fortpflanzung hin und her schwingt. Könnten Sie den Lichtäther sehen, so würden Sie ebenfalls finden, dass jedes einzelne Theilchen eine kleine Ausschwingung hin und her macht, hier aber würde die Bewegung, wie oben bei den Theilchen der Wasserwellen, auf der Fortpflanzungsrichtung senkrecht

stehen. Die Luftschwingungen sind longitudinal, die Aetherschwingungen transversal.

Ich wünsche Ihnen den Charakter der Wellenbewegung, sowohl im Aether als auch in der Luft, recht klar zu machen. Deshalb stelle ich jetzt vor Ihnen einen Versuch an, bei dem die Aethertheilchen durch kleine

Fig. 11.

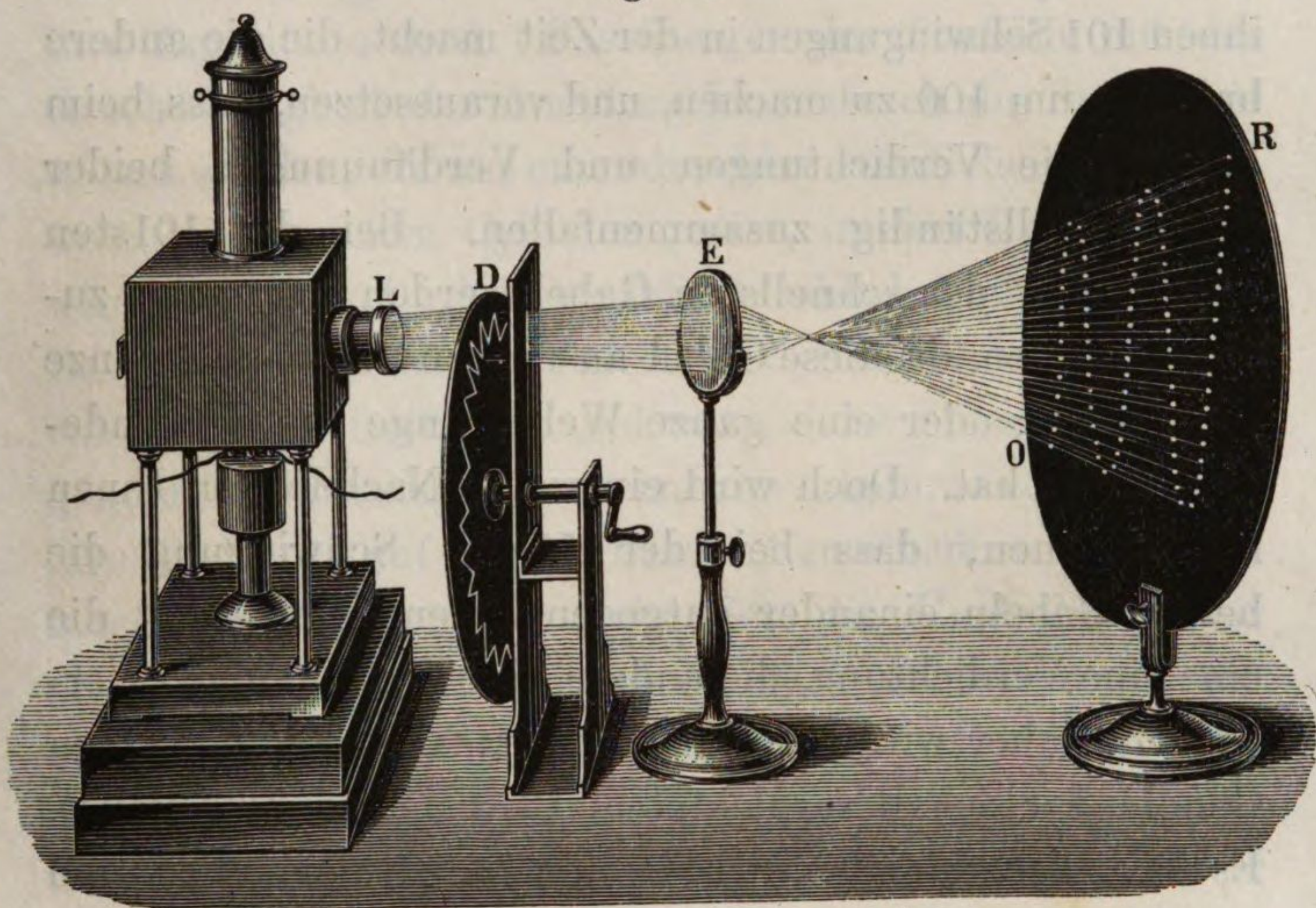


Lichtpunkte dargestellt werden (RO , Fig. 11). Sie sind von einer reinen durchsichtigen Spirale gebildet, die auf eine kreisförmige Platte von geschwärztem Glase gezogen ist (D), so dass, wenn der Kreis rotirt, die Lichtpunkte sich in aufeinander folgenden Anstößen über den Schirm bewegen¹⁾. Bei diesem Versuch sehen Sie deutlich, wie die Anstösse unaufhörlich vorwärts gehen, während ihre Bestandtheile hin- und herschwingen. Es ist dies das Bild

¹⁾ Der Apparat ist von dem ausgezeichneten Mechaniker Herrn Rudolf König in Paris.

einer Schallwelle, deren Schwingungen longitudinal sind. Durch ein anderes Glasrad (*D*, Fig. 12) erzeugen wir das Bild einer transversalen Welle (*OR*) und beobachten hier, wie die Wellen nacheinander über den Schirm ziehen, während jeder einzelne Lichtpunkt mit einer Hin- und Herbewegung die Fortpflanzungsrichtung kreuzt. Beobachten Sie

Fig. 12.



jetzt, was geschieht, wenn das Glasrad sehr rasch gedreht wird. Objectiv betrachtet, pflanzen sich die transversalen Wellen wie vorher fort, aber subjectiv ist die Wirkung eine ganz andere. Da die Retina die Eindrücke bewahrt, so beschreiben die Lichtpunkte einfach eine Reihe von parallelen leuchtenden Linien auf dem Schirme, wobei die Länge dieser Linien die Amplitude der Schwingung angiebt. Hier ist der Eindruck der Wellenbewegung gänzlich verschwunden.

Das einfachste Beispiel der Interferenz der Schallwellen sind die Stösse, die durch zwei musikalische Töne,

welche ein wenig von einander unterschieden sind, erzeugt werden. Werden zwei vollkommen übereinstimmende Stimmgabeln zu gleicher Zeit angeschlagen, so erklingen die beiden Töne gleichförmig, als wären sie nur ein Ton. Befestigen wir aber an der einen Gabel durch Wachs ein kleines Gewicht, so zwingen wir sie, langsamer als ihre Nachbarin zu schwingen. Wir wollen annehmen, dass die eine von ihnen 101 Schwingungen in der Zeit macht, die die andere braucht, um 100 zu machen, und voraussetzen, dass beim Beginn die Verdichtungen und Verdünnungen beider Gabeln vollständig zusammenfallen. Bei der 101sten Schwingung der schnellsten Gabel werden sie wieder zusammenfallen, da diese Gabel an diesem Punkt eine ganze Schwingung oder eine ganze Wellenlänge von der anderen voraus hat. Doch wird ein wenig Nachdenken Ihnen klar machen, dass bei der 50sten Schwingung die beiden Gabeln einander entgegenwirken; hier sucht die eine eine Verdichtung, die andere eine Verdünnung zu erzeugen; daher wird bei der vereinten Wirkung der beiden Gabeln der Schall vernichtet und wir haben eine Pause. Es tritt dies da ein, wo die eine Gabel der andern um eine halbe Wellenlänge voraus ist. Bei der 101sten Schwingung haben wir, wie schon bemerkt, Coincidenz und daher verstärkten Schall; bei der 150sten Schwingung wird der Schall wieder vernichtet. Hier ist die eine Gabel der andern um drei halbe Wellenlängen voraus. Allgemein ausgedrückt fallen die Wellen zusammen, wenn die eine Reihe eine gerade Zahl von halben Wellenlängen, und zerstören sich, wenn die eine eine ungerade Zahl von halben Wellenlängen der andern voraus ist. Mit zwei so eingerichteten Gabeln erhalten wir diese intermittirenden Schallstösse, die durch Pausen getrennt werden, denen wir den Namen Stösse geben.

Durch eine entsprechende Einrichtung können wir es überdies dahin bringen, dass der eine Ton den andern gänzlich vernichtet. In vier bestimmten Linien vernichten sich z. B. die Schwingungen der beiden Zinken der Stimmgabeln untereinander ¹⁾.

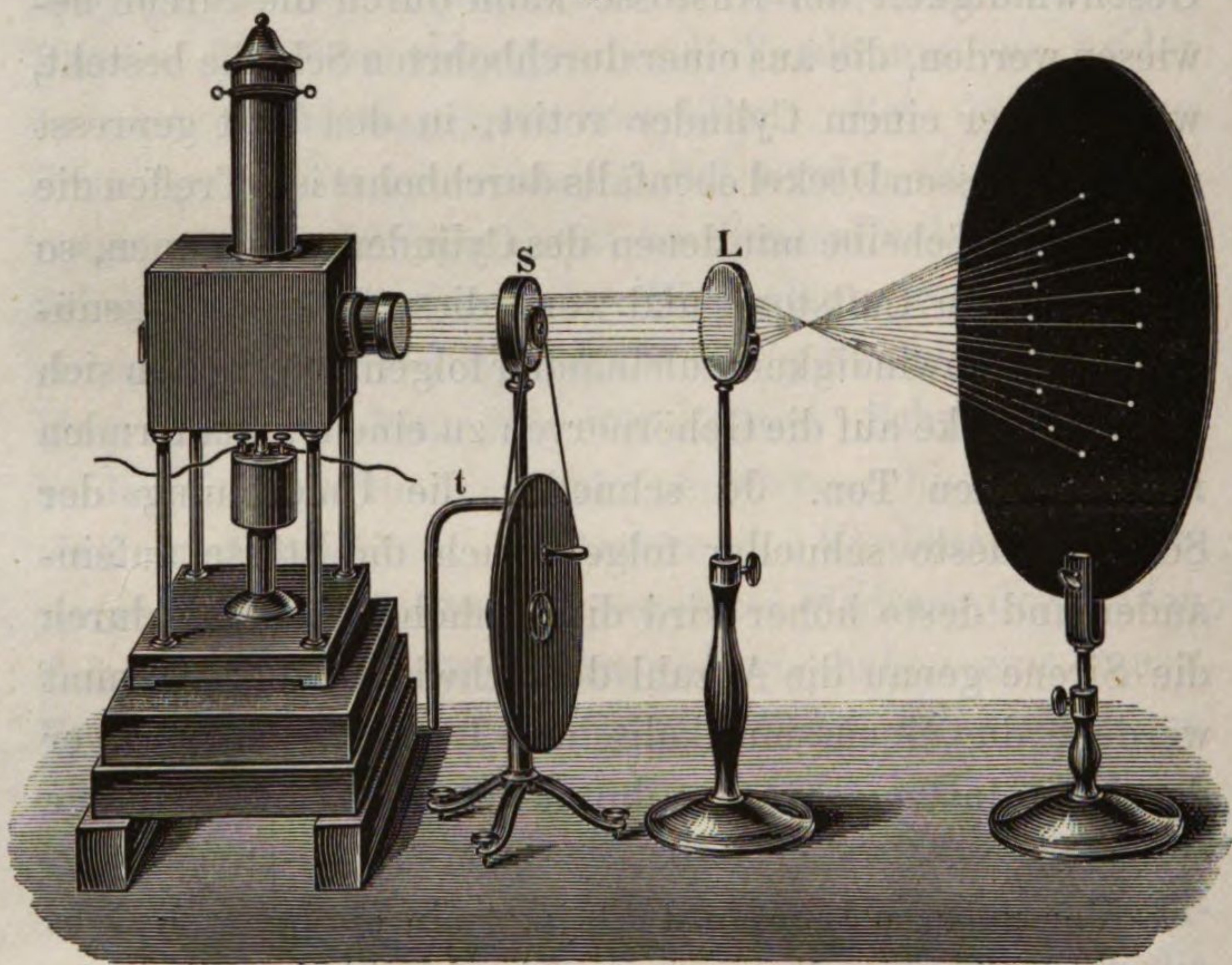
Die Tonhöhe wird allein durch die Geschwindigkeit der Schwingungen bestimmt, wie die Intensität es durch ihre Amplitude wird. Das Steigen der Tonhöhe mit der Geschwindigkeit der Anstösse kann durch die Sirene bewiesen werden, die aus einer durchbohrten Scheibe besteht, welche über einem Cylinder rotirt, in den Luft gepresst wird und dessen Deckel ebenfalls durchbohrt ist. Treffen die Löcher der Scheibe mit denen des Cylinders zusammen, so entweicht ein Luftstoss; und wenn diese Stösse mit genügender Geschwindigkeit aufeinander folgen, so vereinen sich ihre Eindrücke auf die Gehörnerven zu einem andauernden musikalischen Ton. Je schneller die Umdrehung der Scheibe, desto schneller folgen auch die Stösse aufeinander und desto höher wird die Tonhöhe. Es kann durch die Sirene genau die Anzahl der Schwingungen bestimmt werden, die einem musikalischen Ton zukommt, sei er durch ein Instrument oder durch die menschliche Stimme erzeugt.

Vor unserer Lampe steht jetzt ein einfaches Instrument (S, Fig. 13) dieser Art. Die durchbohrte Scheibe wird durch ein Rad und durch ein Band gedreht, und wenn die beiden Reihen der Löcher zusammentreffen, so sieht man eine Reihe von Lichtpunkten, die durch die Linse *L* scharf gezeichnet werden, in der Peripherie eines Kreises auf dem Schirm. Beim langsamen Drehen der Scheibe wird durch das abwechselnde Aufhalten und

¹⁾ Vgl. Tyndall, Schall. Siebente Vorlesung.

Durchlassen des Lichtes ein Flackern erzeugt. Zur gleichen Zeit wird Luft in die Sirene durch die Röhre *t* eingelassen und Sie hören einen zitternden Ton, der dem flackernden Licht entspricht. Vermehren wir die Geschwindigkeit der Rotation, so erscheint das Licht, obgleich es wie vorher unterbrochen wird, vollkommen beständig vermöge des Andauerns der Eindrücke auf der Retina;

Fig. 13.



und wenn die optischen Eindrücke continuirlich werden, so werden es auch die hörbaren Eindrücke. Die Stösse der Sirene verbinden sich miteinander zu einem andauernden musikalischen Ton, der mit der Geschwindigkeit der Rotation in die Höhe steigt. Bei einer Bewegung mit dem Kopf zieht das Bild der Punkte über die Retina und es entstehen Perllinien. Dieselben zeigen sich auch auf unserm Schirm, wenn man einen Spiegel, auf den die

feinen Strahlen vor der Sirene fallen, schnell hin und her bewegt.

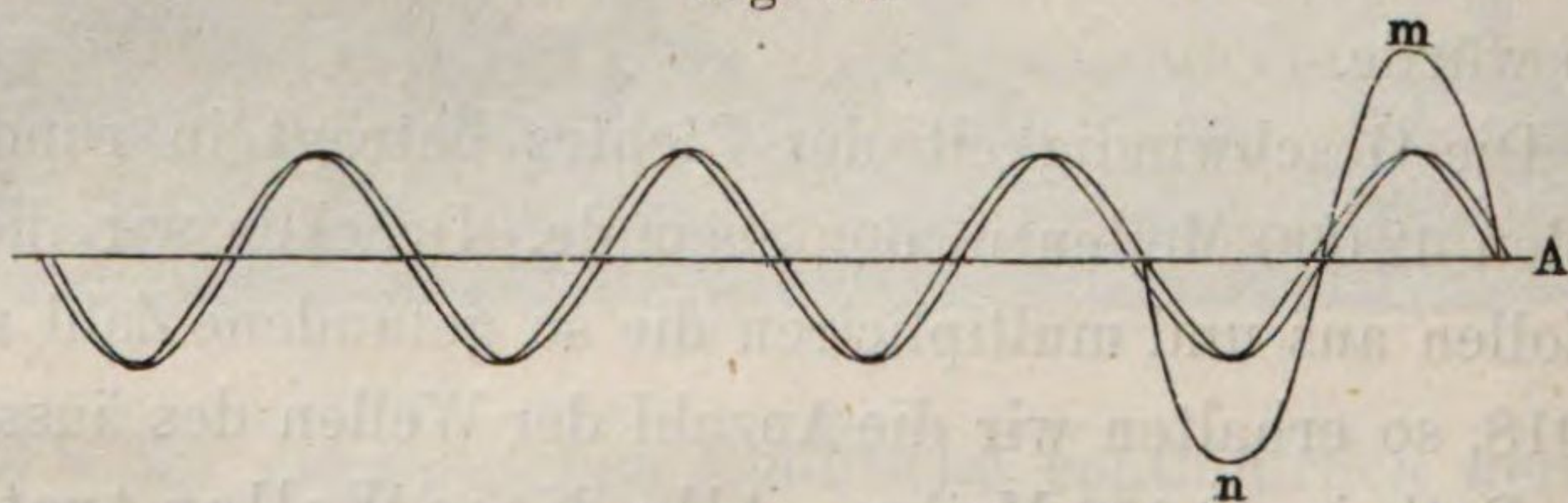
Das, was die Tonhöhe für das Ohr in der Akustik ist, ist die Farbe für das Auge in der Undulationstheorie des Lichtes. Obgleich man die Lichtwellen nie gesehen, so hat man doch ihre Länge bestimmt. Ihre Existenz wird durch ihre Wirkungen bewiesen, und aus ihren Wirkungen lassen sich auch ihre Längen mit Genauigkeit ableiten. Eine solche Bestimmung kann auf verschiedenen Wegen ausgeführt werden. Vergleicht man die verschiedenen Bestimmungen miteinander, so zeigt sich eine genaue Uebereinstimmung zwischen denselben. Diese Uebereinstimmung ist eine der Hauptstützen der Undulationstheorie. Die kürzesten Wellen im sichtbaren Spectrum entsprechen dem äussersten Violett; die längsten dem äussersten Roth; die anderen Farben haben „Tonhöhen“ oder Wellenlängen, die zwischen diesen liegen. Die Länge einer Welle des äussersten Roth ist so gross, dass 36 918 Wellen unmittelbar mit ihren Enden aneinander gelegt, die Länge eines Zolles einnehmen würden, während für das Violett dasselbe bei 64 631 Wellen der Fall sein würde.

Die Geschwindigkeit des Lichtes beträgt in runden Zahlen 42 000 Meilen in der Secunde. Drücken wir diese in Zollen aus und multipliciren die so gefundene Zahl mit 36 918, so erhalten wir die Anzahl der Wellen des äussersten Roth in 42 000 Meilen. Alle diese Wellen treten in einer Secunde in das Auge ein und treffen die Retina an der Rückseite des Auges. Die Anzahl der Anstösse in einer Secunde, die nöthig ist, um den Eindruck des Roth hervorzubringen, beträgt demnach vierhunderteinundfünfzig Billionen. Auf ähnliche Weise findet man, dass die Anzahl der Anstösse, die der Empfindung

des Violett entspricht, sich auf siebenhundertneunundachtzig Billionen beläuft.

Der ganze Weltraum ist mit Materie erfüllt, die auf solche Art oscillirt. Von jedem Stern gehen Wellen von diesen Dimensionen mit der Geschwindigkeit des Lichtes in Kugelschalen aus. Und wie in dem Wasser, so ist auch im Aether die Bewegung jedes Theilchens die algebraische Summe aller ihm mitgetheilten Bewegungen. Dabei wird nicht eine Bewegung durch eine andere vernichtet; wenn etwa an einem Punkte eine Auslöschung entsteht, so wird sie an einem andern Punkte vollkommen compensirt. Jeder Stern zeigt durch sein Licht seine Individualität an, als ob er allein seine Schwingungen durch den Weltraum sendete. Das Princip der Interferenz lässt sich, wie Young nachgewiesen hat, ebenso auf die Lichtwellen, wie auf die Wasser- und Schallwellen anwenden. Und die Bedingungen für die Interferenz sind bei allen drei Wellenarten dieselben. Gehen zwei Lichtwellenreihen von derselben Wellenlänge im selben Augenblick von einem gemeinsamen Ausgangspunkte (*A*, Fig. 14)

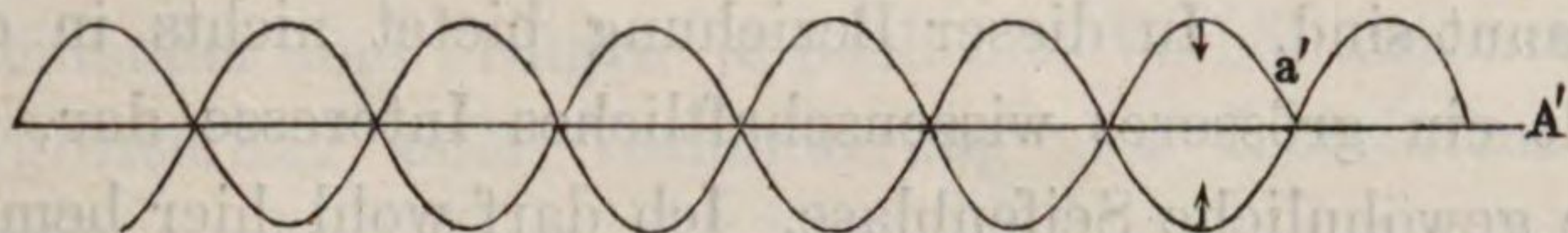
Fig. 14.



aus, so fällt Berg mit Berg, Thal mit Thal zusammen, und beide Systeme bilden zusammen ein einziges von der doppelten Amplitude (*Amn*). Beginnen beide Wellenreihen in demselben Augenblick und ist die eine beim Entstehen eine ganze Wellenlänge vor der andern voraus, so addiren sie sich gleichfalls und der Lichteffect wird vergrößert.

Dasselbe tritt überhaupt, wie bei dem Schall, ein, wenn das eine Wellensystem dem andern eine gerade Anzahl von halben Wellenlängen voraus ist. Ist aber das eine System um eine halbe Wellenlänge (wie $A'a'$, Fig. 15)

Fig. 15.



oder irgend eine ungerade Anzahl von halben Wellenlängen vor dem andern voraus, so fallen die Berge der einen Welle mit den Thälern der andern zusammen; in der That strebt das eine System die Aethertheilchen an eben den Stellen in die Höhe zu heben, wo sie von dem andern herabgezogen werden; es bleibt demnach durch die vereinigte Wirkung dieser entgegengesetzten Kräfte (sie sind durch die Pfeile bezeichnet) der Lichtäther vollkommen ruhig. Diese Ruhe des Aethers bildet das, was wir Dunkelheit nennen, und diese entspricht, wie wir bereits erwähnt haben, einer vollständig unbewegten Wasserfläche.

Wir sagten in unserer ersten Vorlesung bei der Besprechung der durch Absorption hervorgebrachten Farben, dass die Wirkung der natürlichen Körper eine auswählende, nicht eine schöpferische sei, dass sie gewisse Bestandtheile des weissen Sonnenlichtes auslöschen und dann in den Farben des nicht ausgelöschten Lichtes erscheinen. Sie müssen sogleich ahnen, dass die Interferenz ein Mittel ist, durch das sich das Licht selbst auslöschen kann und dass demnach hierdurch Farben hervorgebracht werden können. Hiernach würden aber gewisse Bestandtheile durch Interferenz ausgelöscht werden und andere übrigbleiben können. Das ist auch in der That der Fall und beruht auf dem Unterschied der Wellenlängen der verschiedenen Farben.

Wir wollen diesen Gegenstand durch eine Anzahl von Erscheinungen erläutern, durch die zuerst Hooke auf die Undulationstheorie geführt wurde. Es sind dies die Farben dünner durchsichtiger Schichten jeglicher Art, die unter dem Namen der Farben dünner Blättchen bekannt sind. In dieser Beziehung bietet nichts in der Welt ein grösseres wissenschaftliches Interesse dar, als eine gewöhnliche Seifenblase. Ich darf wohl hier bemerken, dass sich hier dem Vertreter der reinen Wissenschaft inmitten „praktischer“ Völker, wie in England und Amerika, ganz besondere Schwierigkeiten entgegenstellen; man kann nicht erwarten, dass in solchen Ländern eine tiefere Neigung zu Arbeiten vorhanden sei, die sich so weit von dem Bereich des praktischen Lebens entfernen, wie die Arbeiten eines Mannes der Wissenschaft. Denken Sie sich, dass Dr. Draper seine Tage damit zubrächte, Seifenblasen zu machen und ihre Farben zu studiren! Werden Sie mit ihm die nöthige Geduld haben und ihm die nöthigen Subsistenzmittel zuwenden? Und doch bedenken Sie wieder, dass sich mit solchen Dingen Männer wie Boyle, Newton und Hooke beschäftigten; und dass auf solche Versuche eine Theorie gegründet wurde, deren Erfolge noch unberechenbar sind. Ich sehe keinen andern Ausweg für Sie, die Laien, als dass Sie dem Gelehrten in der Wahl seiner Untersuchungen vertrauen; er steht vor dem Richterstuhl seines Gleichen und nach ihrem Urtheil über seine Arbeiten sollten auch Sie sich richten.

Woher kommen denn die Farben einer Seifenblase? Denken Sie sich, dass ein Strahl weissen Lichtes auf die Blase falle. Wenn er die erste Oberfläche des Häutchens trifft, so wird ein bestimmter Theil des Lichtes reflectirt. Ein grosser Theil des Strahles tritt in das Häutchen ein, trifft auf die zweite Oberfläche und wird wieder zum Theil

reflectirt. Die Wellen kehren so an der zweiten Oberfläche um und folgen den von der ersten Oberfläche reflectirten Wellen auf dem Fusse nach. Und wenn die Dicke des Häutchens derart ist, dass sie die nöthige Verzögerung hervorbringt, so interferiren die beiden Wellen miteinander und bringen je nach den Verhältnissen eine Vergrösserung oder Verminderung der Lichtintensität hervor.

Da nun aber die Lichtwellen verschiedene Längen besitzen, so ist es klar, dass, um bei den Wellen von grösserer Wellenlänge eine Selbstauslöschung hervorzubringen, eine grössere Dicke des Häutchens nöthig ist, als bei denen von kürzerer. Es müssen sich demnach verschiedene Farben bei verschiedenen Dicken des Häutchens zeigen.

Nehmen Sie eine kleine Flasche voll Terpentinöl und giessen Sie es auf einen Teich. Sie werden dann sehen, wie Farben an der Oberfläche des Wassers aufblitzen. In kleinerem Maassstabe können wir sie folgendermaassen hervorrufen: Ein gewöhnliches Theebrett wird mit Wasser gefüllt, unter dessen Oberfläche das Ende einer Pipette taucht. Ein Lichtstrahl fällt auf das Wasser und wird von ihm auf einen Schirm reflectirt. Terpentinöl wird in die Pipette gegossen; es sinkt, tritt aus ihrem Ende in kleinen Tropfen aus, die nacheinander an die Oberfläche steigen. Jeder Tropfen, der sie erreicht, breitet sich augenblicklich zu einem Häutchen aus, und glänzende Farben erscheinen sogleich auf dem Schirme. Die Farben verändern sich, jenachdem die Dicke des Häutchens sich ändert. Sie sind zonenweise, in Folge der allmählichen Verminderung der Dicke vom Centrum nach aussen, angeordnet. Jede dünne Schicht erzeugt diese Farben. Die Luftschicht zwischen zwei aneinandergedrückten Glasplatten zeigt, wie Hooke dargethan hat, lebhaft farbige

Streifen. Sie sehen jetzt ein besonders schönes Beispiel solcher Streifen vor sich. Luft ist dazu nicht nöthig; eine Unterbrechung der optischen Continuität genügt. Schlagen Sie mit einer Axt auf das schwarze durchsichtige Eis unter der Moräne eines Gletschers — schwarz ist es, da es rein und von bedeutender Dicke ist. Sie werden in dem Innern Brüche erzeugen, zu denen keine Luft dringen kann, und diese Brüche zeigen häufig die glänzendsten Farben dünner Blättchen. Historisch am interessantesten ist aber ohne Zweifel ihr Entstehen an den Seifenblasen. Mit einer Mischung, die von dem bedeutenden blinden Naturforscher Plateau bei seinen Untersuchungen über die Cohäsionsfiguren dünner Häutchen benutzt worden ist, können wir in ruhiger Luft Blasen von zehn bis zwölf Zoll im Durchmesser erhalten. Mögen Sie nun auf die Blase selbst oder auf ihre Projection auf den Schirm blicken, in beiden Fällen sehen Sie lebhaft, in Zonen angeordnete Farben. Machen Sie die Lichtstrahlen parallel und lassen sie von oben oder von unten oder von der Seite auf die Blase fallen, stets treten glänzende Farbenfächer auf dem Schirm auf, die rotiren, wenn sie den Strahl um die Blase hinführen. Durch diesen Versuch werden auch die inneren Bewegungen des Häutchens deutlich sichtbar.

Grosse Theorien werden nicht in einem Augenblick ausgearbeitet. Die Thatfachen, aus denen sie entspringen, werden zuerst durch beobachtende Geister gefunden; darauf folgt eine Periode des Nachdenkens und von Erklärungsversuchen. Durch solche Anstrengungen wird der menschliche Geist allmählich für die letzte theoretische Erkenntniss vorbereitet. Die Farben dünner Blättchen beschäftigten zum Beispiel die Aufmerksamkeit des berühmten Robert Boyle. In seiner „Experimental

History of Colours“ kämpft er gegen die Schulen, die behaupteten, dass die Farbe „eine penetrative Qualität sei, die bis zu den innersten Theilchen des Gegenstandes reiche,“ indem er dem widersprechende Thatsachen anführte. „Um Ihnen ein erstes Beispiel anzugeben,“ sagt er, „brauche ich Sie nur daran zu erinnern, was ich am Anfang dieser Abhandlung in Bezug auf das Blau und Roth und Gelb, das auf einem gehärteten Stahl hervorgerufen werden kann, gesagt habe; obgleich nämlich diese Farben sehr lebhaft sind, so zeigt sich doch beim Zerbrechen des Stahles, dass sie sich nur an der Oberfläche befinden.“ Er beschreibt dann mit Ausdrücken, aus denen die grosse Freude ersichtlich ist, die ihm die Arbeit machte, folgenden schönen Versuch: „Wir nahmen eine Quantität reinen Bleies, schmolzen es in starkem Feuer und gossen es alsdann sogleich in ein reines Gefäss von passender Grösse und geeignetem Material (wir benutzten ein Eisengefäss, damit die grosse und plötzliche Hitze ihm nicht schadete). Nahmen wir alsdann sorgfältig und schnell den Schlamm, der sich an der Oberfläche befand, fort, so bemerkten wir, wie wir erwarteten, dass die glatte und glänzende Oberfläche der geschmolzenen Substanz mit prächtigen Farben geschmückt war; sie waren aber ebenso vergänglich wie schön, und machten fast augenblicklich anderen lebhaften Farben Platz; diesen folgte ebenso schnell eine dritte Reihe, die dann wieder eine vierte verdrängte. Diese prächtigen Farben erschienen und vergingen, bis das Metall nicht mehr heiss genug war, um dieses anmuthige Schauspiel darzubieten. Die Farben, die die Oberfläche in dem Augenblick schmückten, als das Blei sich soweit abzukühlen begann, blieben darauf; sie waren aber nur auf der äussersten Oberfläche befindlich, so dass, wenn wir auch nur eine Spur von der Oberfläche

des Körpers wegschabten, wir auch die Farbe vollständig an den betreffenden Stellen vernichteten. „Diese Versuche,“ fügte er hinzu, „erregten in mir einige Gedanken und Vermuthungen, zu deren Mittheilung mir jetzt die Zeit fehlt.“

Er dehnt seine Untersuchungen auf die wichtigsten ätherischen Oele und Weingeist aus, die, wenn sie so lange geschüttelt werden, dass sie eine gehörige Anzahl von Blasen bilden, an diesen Blasen bei aufmerksamer Betrachtung verschiedene liebliche Farben zeigen, die sogleich verschwinden, wenn die diese Blasen bildenden Oelhäutchen sich wieder mit der ganzen Masse der Substanz vereinigen. Er erwähnt auch die Farben der Seifenblasen und der Glasblättchen: „Ich habe eins gesehen, das dadurch hergestellt worden war, dass man eine Glaskugel bis zum Platzen in der Lampe aufblies; dabei zeigte sich, dass sich das Glas in Folge seiner grossen Zähigkeit vor dem Zerreißen in so feine Blättchen bringen lässt, dass sie auf ihren Oberflächen die wechsellvollen Farben des Regenbogens zeigen.

Nach Boyle widmete der berühmte Robert Hooke seine Aufmerksamkeit den Farben dünner Blättchen; wir finden in seinen Schriften eine Ahnung der Undulations-theorie. Er beschreibt die Farben, die er durch dünne Schichten von Marienglas erhielt, sehr genau, auch die Farben an ungleich dichten Stellen von Krystallen, wo die optische Continuität zerstört ist. Er zeigt die Abhängigkeit der Farbe von der Dicke des Blättchens sehr deutlich und beweist durch mikroskopische Untersuchung, dass Platten von gleicher Dicke auch gleiche Farben geben. „Wenn Sie,“ wie er sagt, „ein kleines Stück Marienglas nehmen und es mit einer Nadel oder irgend einem andern entsprechenden Instrument in dünnere

und immer dünnere Blättchen spalten, so werden Sie finden, dass die Blättchen, ehe sie eine bestimmte Dünneheit haben, durchsichtig und farblos erscheinen; fahren Sie aber fort, sie zu spalten und zu theilen, so werden Sie zuletzt finden, dass jedes Blättchen besonders schön gefärbt ist oder in einer bestimmten Farbe glänzt. Wenn Sie nun auf irgend eine Art ein ziemlich dickes Stück so zerspalten, dass ein Theil sich etwas vom andern trennt und Sie zwischen diese beiden irgend ein durchsichtiges Medium einführen, so werden die blätterigen oder durchsichtigen Körper, die den Raum erfüllen, mehrere Regenbogen oder gefärbte Linien zeigen, deren Farben nach den verschiedenen Dicken der einzelnen Theile des Blättchens vertheilt und geordnet sind.“ Dann beschreibt er klar und vollständig den schon angeführten Versuch mit den gepressten Gläsern:

„Nehmen Sie zwei kleine Stücke geschliffenes und polirtes Spiegelglas, jedes ungefähr von der Grösse eines Schillings; trocknen Sie sie und drücken sie mit Ihren Zeigefingern und Daumen recht stark und fest aneinander, so werden Sie finden, dass, wenn sie sich sehr einander nähern, Linien in den verschiedenen Regenbogenfarben fast in derselben Art wie bei dem Marienglas erscheinen; Sie können sehr leicht jede dieser Farben an den einzelnen Stellen des zwischengeschobenen Körpers ändern, wenn Sie die Blättchen fester und stärker zusammendrücken oder sie loser lassen, d. h. es kann ein Theil, der früher roth gefärbt erschien, jetzt gelb, blau, grün, purpurfarben oder ähnlich gefärbt erscheinen. Eine jede Substanz,“ sagt er, „wenn sie nur dünn und durchsichtig ist, kann diese Farben zeigen.“ Er erhielt sie, wie Boyle, durch sehr dünne Glashäutchen; er erzeugte sie auch durch Blasen von Pech, Harz, Colophonium, Terpentin,

durch verschiedene Gummilösungen, z. B.: von Gummi arabicum in Wasser, durch irgend eine zähe Flüssigkeit, als: Bierwürze, Wein, Spiritus, Terpentinöl u. s. f.

Hooke's Schriften zeigen, dass selbst schon zu seiner Zeit der Gedanke, dass sowohl Licht als auch Wärme, Bewegungsarten seien, sich der Geister bemächtigt habe. „Zuerst,“ sagte er, „wird man mir wohl leicht zugeben, dass die Theilchen aller Art von feurig brennenden Körpern in Bewegung sind. Dass der Funke, den man aus Kiesel und Stahl schlägt, in rascher Bewegung ist, habe ich sonst schon als wahrscheinlich erwiesen; dass Wärme eine Bewegung der inneren Theile (wie ich schon vorher sagte) voraussetzt, ist allgemein angenommen.... und dass alle äusserst heissen, leuchtenden Körper eine sehr schnelle Bewegung besitzen, die Licht erzeugt, ebenso wie eine stärkere, die Wärme erzeugt, das kann man aus der Geschwindigkeit schliessen, mit der die Körper aufgelöst werden. Nächst dem muss es eine schwingende Bewegung sein.“ Sein Hinweis auf die rasche Bewegung des Lichtes und die stärkere Bewegung der Wärme ist ein auffallend scharfsinniger Gedanke; aber Hooke's Intuition ist mehr werth, als seine Schlussfolgerungen; denn die Beweise, die er dafür anführt, dass das Licht „eine schwingende Bewegung“ sei, haben keinen besondern Werth für die Lösung der Frage.

Und doch trug dieser merkwürdige Mann sicher eine Ahnung der Undulationstheorie in seinem Geiste. Indem er sich Mühe giebt, eine Ursache für die Farben der dünnen Blättchen zu finden, kommt er wieder auf die Beziehung der Farbe zur Dicke zurück; er hält an der Thatsache fest, dass die dünne Schicht, die diese Farben zeigt, durchsichtig sein müsse, und beweist es, indem er darlegt, dass, so dünn auch ein undurchsichtiger Körper

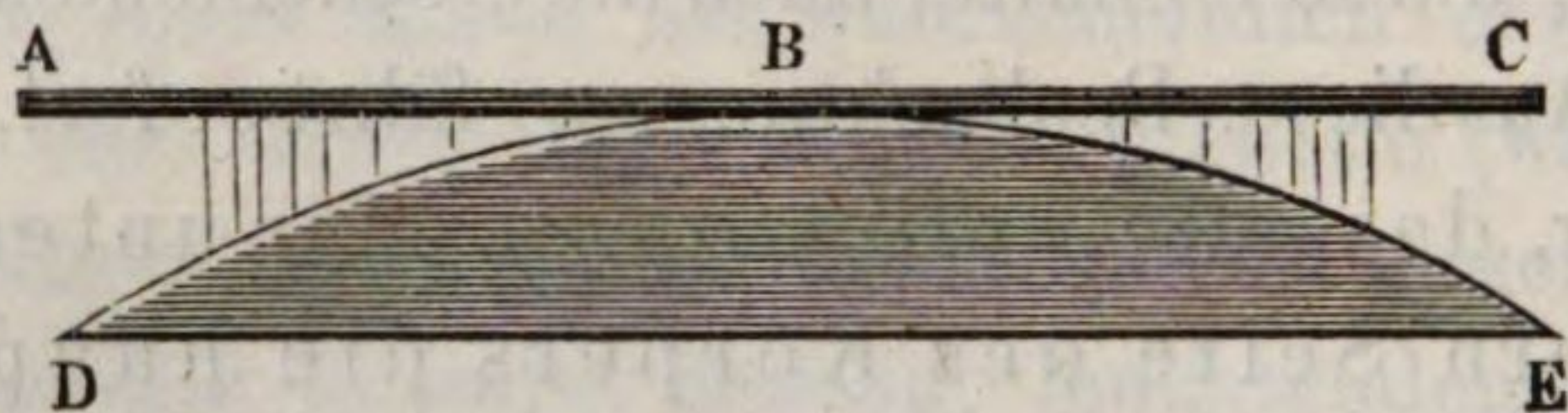
gemacht wird, er doch keine Farben erzeugt. „Ich habe diesen Versuch oft angestellt,“ sagt er, „und eine kleine Quecksilberkugel zwischen zwei ebene Glasplatten gelegt, wodurch ich diesen Körper weit dünner gemacht habe, als nöthig gewesen wäre, um die Farben mit einem durchsichtigen Körper zu erzielen.“ Dann folgt die scharfsinnige Bemerkung, dass, um die Farben zu erzeugen, ein stark reflectirender Körper in der Nähe der untern oder entferntern Seite des dünnen Blättchens sein müsse; „denn das habe ich immer gefunden, dass, je stärker die Reflexion war, um so lebhafter auch die erscheinenden Farben waren.“ „Aus diesen Beobachtungen,“ fährt er fort, „geht es klar hervor, dass die Reflexion von der untern oder entferntern Seite des Körpers die hauptsächliche Ursache der Bildung dieser Farben ist.“

Er macht eine Zeichnung, die genau die Reflexion auf den beiden Oberflächen des Blättchens darstellt, aber hier hört seine Klarheit auf. Er schreibt die Farben einer Coalescenz oder Verwirrung der beiden reflectirten Schwingungen zu; da er das Gesetz der Interferenz nicht kannte, konnte er mit seiner Erklärung nicht weiter kommen. Doch fügt er eine höchst wichtige Bemerkung hinzu. „Es scheint vor allen Dingen von der grössten Wichtigkeit für diese Hypothese zu sein, dass man die grösste und die geringste Dicke bestimmen kann, die für diese Wirkungen erforderlich ist; ich habe nichts unterlassen, es zu versuchen; diese gefärbten Blättchen sind aber so ausserordentlich dünn und unser Mikroskop so unvollkommen, dass ich bis jetzt ohne Erfolg gearbeitet habe.

Auf diese Weise sind durch die fleissige Arbeit der verschiedenen Forscher Thatsachen beobachtet, untersucht und die genauen Bedingungen ihrer Erscheinung bestimmt

worden. All diese Arbeit in der Wissenschaft ist der Vorläufer für andere Arbeit; und die Anstrengungen von Boyle und Hooke ebneten den Weg für Newton's optische Laufbahn. Er besiegte die Schwierigkeit, die Hooke unüberwindlich schien, und bestimmte durch genaue Messungen das Verhältniss der Dicke des Blättchens zur Farbe, in der es spielt. Um dies zu erreichen, war es seine erste Sorge, ein Blättchen von wechselnder und berechenbarer Dicke zu erhalten. Auf eine planconvexe

Fig. 16.



Glaslinse (DBE , Fig. 16) von sehr schwacher Krümmung legte er eine Glasplatte (AC) mit ebener Oberfläche und erhielt so einen Raum von Luft, der allmählich an Dicke vom Berührungspunkt (B) nach auswärts hin zunahm. Als er den Luftraum in einfarbigem Licht beobachtete, sah er mit der Freude, die die Bestätigung einer Ver-

Fig. 17.



muthung mit sich bringt, rings um den Berührungspunkt eine Reihe von glänzenden Ringen, die von einander durch dunkle getrennt waren, und die sich um so dichter aneinander legten, je mehr die Entfernung vom Berührungspunkt zunahm (wie in Fig. 17). Wenn er rothes Licht anwandte, hatten seine Ringe bestimmte Durchmesser;

benutzte er blaues Licht, so wurden die Durchmesser kleiner. Je brechbarer das Licht war, desto kleiner waren also die Ringe. Führt er seine Gläser durch das Spectrum von Roth zu Blau, so zogen sich die Ringe allmählich zusammen; ging er vom Blau zum Roth über, so dehnten sich die Ringe aus. Es ist dies ein schöner Versuch und er scheint Newton die grösste Befriedigung gewährt zu haben. Fiel weisses Licht auf die Gläser, so erhielt man eine Reihe von regenhogenfarbigen Kreisen, insoweit die Farben sich nicht deckten. Sie haben jetzt ein vergrössertes Bild der Newton'schen Ringe vor sich, und verwenden wir nacheinander rothes, blaues und weisses Licht, so erhalten wir alle Erscheinungen, die Newton beobachtet hat. Sie werden bemerken, dass die Ringe im einfarbigen Licht näher und näher zusammenlaufen, wenn sie sich vom Centrum entfernen. Es kommt dies daher, dass in einer gewissen Entfernung vom Centrum die Luftschicht sich schneller verdickt, als nahe daran. Wendet man weisses Licht an, so bewirkt dieses Näherrücken der Ringe, dass die verschiedenen Farben sich übereinanderlegen, so dass sie sich bei einer gewissen Dicke zu weissem Licht vereinen und die Ringe ganz aufhören. Es bedarf nur einer kurzen Ueberlegung, um zu begreifen, dass die Farben von dünnen Platten nie ungemischt und einfach sind.

Newton verglich die auf diese Weise erhaltenen Farbentöne mit den Farben einer Seifenblase und berechnete die entsprechende Dicke. Ich will Ihnen seine Methode klar zu machen versuchen: Nehmen Sie an, dass das Wasser des Oceans vollkommen ruhig sei; es würde dann genau die gebogene Oberfläche der Erde darstellen. Eine vollkommen horizontale Ebene möge die Oberfläche an irgend einem Punkt berühren. Da wir den Durchmesser

der Erde kennen, so kann Ihnen jeder Ingenieur oder Mathematiker in diesem Saal sagen, wie tief die Oberfläche des Meeres in ein, zehn, hundert oder tausend Fuss Entfernung von dem Berührungspunkt der Ebene und des Meeres unter dieser Ebene liegt. Man nimmt in der That bei Nivellirungsarbeiten stets auf die Erdkrümmung Rücksicht.

Newton's Berechnung war genau die gleiche. Sein ebenes Glastangirte das gekrümmte. Aus seinem Brechungsverhältniss und seiner Brennweite bestimmte er den Durchmesser der Kugel, von der sein gekrümmtes Glas einen Abschnitt bildete; er maass die Entfernung der Ringe vom Berührungspunkt und berechnete die Dicke zwischen der tangirenden Ebene und der gekrümmten Oberfläche, gerade so wie der Ingenieur die Entfernung zwischen seiner tangirenden Ebene und der Meeresoberfläche berechnet. Wunderbar ist es, wie Newton, wo so unendlich kleine Entfernungen zu bestimmen waren, bei den Mitteln, die ihm zu Gebot standen, doch mit so überraschender Genauigkeit arbeiten konnte.

Die Erklärung dieser Ringe war die grösste Schwierigkeit, die Newton je entgegentrat. Er war sich der schweren Aufgabe vollkommen bewusst. Ueber seinem Adlerauge lag kein Schleier, in seinen Anschauungen gab es keine Unklarheit. Gleich beim Beginn trat seiner Theorie die Frage entgegen: Warum werden, wenn ein Lichtstrahl auf einen durchsichtigen Körper fällt, einige seiner Lichttheilchen reflectirt und andere durchgelassen? Giebt es zwei Arten von Theilchen, die eine besonders für die Durchlassung, die andere für die Reflexion geeignet? Dies kann nicht der Grund sein; denn, wenn wir einen Lichtstrahl, der schon von einem Stück Glas reflectirt worden ist, auf ein anderes fallen lassen, so wird er, nach der

allgemeinen Regel, wiederum in einen reflectirten und in einen durchgelassenen Theil zerfallen. So werden weder die einmal reflectirten Theilchen immer reflectirt, noch die einmal durchgelassenen Theilchen immer durchgelassen. Newton sah dies Alles; er wusste, dass er erklären musste, warum dasselbe Theilchen in einem Moment reflectirt und im nächsten Moment durchgelassen wurde. Es konnte nur durch irgend eine Veränderung in der Beschaffenheit des Theilchens selbst geschehen. Dasselbe Theilchen, behauptete er, habe abwechselnd „Anwandlungen“ von Durchlässigkeit und Reflexion.

Wenn Sie mir bei einem Versuche, die speculative Basis dieser Theorie der Anwandlungen zu ergründen, folgen wollen, so wird, denke ich, die Uebung in geistiger Thätigkeit Sie für die nothwendige anstrengende Aufmerksamkeit belohnen.

Newton war sehr zurückhaltend in seinen Angaben über die Ursache dieser Anwandlungen; doch bleibt uns kaum ein Zweifel, dass seine Vorstellungen auf einer physikalischen Ursache beruhten. Auch kann kein Zweifel obwalten, dass er hier, wie bei allen Versuchen, Theorieen aufzustellen, genöthigt war, auf die Erfahrung für die Grundlagen seiner Theorie zurückzugehen. Wir wollen versuchen, seinem Gedankengange und seinen Beobachtungen zu folgen. Ein Magnet konnte ihm die Vorstellung von angezogenen und abgestossenen Polen geben; da er gewöhnlich im Sichtbaren ein Bild des Unsichtbaren sah, konnte er naturgemäss seinen Lichttheilchen solche Pole geben. Hätte er ihre angezogenen Pole einer durchsichtigen Substanz zugekehrt, so würden die Theilchen angezogen und durchgelassen werden; kehrte er ihr ihre

abstossenden Pole zu, so würden sie abgestossen oder reflectirt werden. So würde bei einer Annahme von Polen die Durchlassung und die Reflexion desselben Theilchens zu verschiedenen Zeiten erklärt werden.

Betrachten Sie die Newton'schen Ringe in reinem rothem Licht, sie sind abwechselnd hell und dunkel. Die Luftschicht, die dem äussersten von ihnen entspricht, ist nicht dicker, als eine gewöhnliche Seifenblase, und sie wird dünner, wie sie sich dem Centrum nähert; und doch maass Newton, wie ich sagte, die jedem Ring entsprechende Dicke und zeigte den Unterschied der Dicke von Ring zu Ring. Und jetzt das Resultat. Der Bequemlichkeit wegen wollen wir die Dicke der Luftschicht, die dem ersten dunkeln Ring entspricht, d nennen; dann fand Newton die Entfernung, die dem zweiten dunkeln Ring entsprach, gleich $2d$; die Dicke, die dem dritten dunkeln Ring entsprach, gleich $3d$; die Dicke, die dem zehnten dunkeln Ring entsprach, gleich $10d$ und so fort. Sicher muss irgend eine verborgene Bedeutung in der kleinen Entfernung d liegen, die so ununterbrochen auftritt? Man kann sich das lebhafteste Interesse vorstellen, mit dem Newton diese Bedeutung verfolgte. Und was musste das wahrscheinliche Resultat seines Grübelns sein? Er hatte seinen Lichttheilchen Pole gegeben, aber jetzt muss er den Gedanken einer periodischen Wiederkehr einführen. Hier hätte seine Begabung, das Sinnliche auf das Uebersinnliche zu übertragen, es ihm leicht gemacht, sich die Lichttheilchen nicht nur mit einer translatorischen Bewegung, sondern auch mit einer rotatorischen begabt zu denken. Newton's astronomische Kenntnisse machten ihm alle solche Auffassungen vertraut. Die Erde hat solch eine doppelte Bewegung. In der Zeit, in der unser Planet über ein und eine halbe Million Meilen auf seiner Bahn zurücklegt —

also in vierundzwanzig Stunden — vollbringt er eine vollkommene Umdrehung, und man muss annehmen, dass Newton's Lichttheilchen in der Zeit, in der sie die Entfernung d zurücklegen, eine vollkommene Rotation beschreiben. Wahr ist es, dass das Lichttheilchen kleiner ist als der Planet, und dass die Entfernung d , statt ein und eine halbe Million Meilen zu betragen, wenig mehr als einundneunzig Tausendstel eines Zolles beträgt. Aber beide Annahmen sind in ihrem allgemeinen Grundprincip identisch.

Denken Sie sich nun ein Theilchen, das in die Luftschicht eintritt, wo sie diese richtige Dicke besitzt. Um in die Schicht einzutreten, muss es sein angezogenes Ende vorschieben. In der Schicht kann es sich einmal vollkommen um sich selbst drehen; an der andern Seite der Schicht schiebt sich wieder der angezogene Pol vor; es wird daher an der entgegengesetzten Seite der Schicht in das Glas treten und für das Auge verloren sein. Rings um den Berührungspunkt, überall wo die Schicht genau diese Dicke hat, wird das Licht gleichfalls verschwinden; wir werden daher einen dunklen Ring haben.

Und nun beobachten Sie, wie genau diese Ansicht mit dem von Newton entdeckten Gesetz der Proportionalität übereinstimmt. Beträgt die Dicke der Schicht $2d$, so hat das Theilchen Zeit, zwei vollständige Rotationen in der Schicht auszuführen; wenn die Dicke $3d$ beträgt, drei vollständige Rotationen; wenn $10d$, zehn vollständige Rotationen. Sicher ist, dass in jedem Fall der angezogene Pol des Theilchens vorgeschoben ist, wenn es auf die zweite Oberfläche der Schicht kommt. Es wird daher durchgelassen, und weil kein Licht zum Auge kommt, so haben wir einen dunkeln Ring an jedem dieser Orte.

Die hellen Ringe ergeben sich genau aus derselben Vorstellung. Sie treten zwischen den dunkeln Ringen auf, da die Dicken, denen sie entsprechen, auch zwischen die der dunkeln fallen. Nehmen Sie zuerst den ersten hellen Ring. Die Dicke der Schicht ist $\frac{1}{2}d$; in diesem Intervall kann das rotirende Theilchen nur eine halbe Umdrehung ausführen. Wenn es nun die zweite Oberfläche der Schicht erreicht, schiebt es seinen abstossenden Pol vor; es wird daher zurückgeworfen und trifft das Auge. Auf allen Entfernungen um das Centrum herum, die dieser Dicke entsprechen, wird dasselbe Resultat erzeugt, und die Folge ist ein heller Ring. Die anderen hellen Ringe entsprechen denselben Ursachen. Beim zweiten, wo die Dicke $1\frac{1}{2}d$ beträgt, erfolgt ein und eine halbe Umdrehung; beim dritten zwei und eine halbe Umdrehung, und an jeder dieser Stellen kehren die Theilchen ihre abstossenden Pole der untern Oberfläche der Schicht entgegen. Sie werden daher zum Auge zurückgeworfen und erzeugen dort den Eindruck der Helligkeit. Obgleich diese Betrachtung manche Schwierigkeit birgt, wenn sie genau untersucht wird, so eröffnet sie uns doch ein Verständniss dafür, wie die Theorie der Anwandlungen in Newton's Geist Wurzel fassen konnte.

Wir haben schon gesagt, dass die Emissionstheorie dem Licht eine grössere Geschwindigkeit in Glas und Wasser zuspricht, als in Luft oder im Sternenraum; und dass sie in diesem Punkt der Wellentheorie direct widerspricht, die die Geschwindigkeit in Luft oder im Sternenraum für grösser als in Glas oder Wasser erklärt. Durch einen von Arago vorgeschlagenen und mit bewundernswerther Geschicklichkeit von Foucault und Fizeau ausgeführten Versuch wurde diese Frage einer genauen

Prüfung unterworfen und zu Gunsten der Wellentheorie entschieden.

In dem vorliegenden Fall stehen beide Theorieen ebenfalls im Widerspruch. Newton nahm an, dass die Thätigkeit, welche die abwechselnd hellen und dunkeln Ringe erzeugt, an einer einzigen Oberfläche auftritt, d. h. an der zweiten Oberfläche der Schicht. Die Wellentheorie behauptet, dass die Ringe durch die Interferenz der Wellen entstehen, die von beiden Oberflächen zurückgeworfen werden. Auch dies ist durch den Versuch bewiesen worden. Durch richtig getroffene Anordnungen können wir, wie wir später sehen werden, die Reflexion an der einen Oberfläche der Schicht vernichten und wenn dies geschehen ist, verschwinden die Ringe gänzlich.

Ringe von schwacher Intensität werden auch durch das durchgelassene Licht gebildet. Diese werden durch die Wellentheorie von der Interferenz der Wellen, die direct durch die Schicht gegangen sind, mit anderen abgeleitet, die zwei Reflexionen in der Schicht erfahren haben. Sie sind so vollständig erklärt.

Man sagt, dass Newton's Annahme der Emissionstheorie die wissenschaftlichen Entdeckungen verzögert habe. Man könnte indess wohl fragen, ob nicht im Ganzen die Irrthümer der grossen Männer den Erfolg haben, dass sie den geistigen Fortschritt periodisch machen, statt dass er immer gleichmässig bleibt, da „die Verzögerung“ in jedem vorkommenden Fall das Vorspiel zu einem raschern Fortschritt ist. Wir müssen eher Verwirrung und Stockung, als Irrthum vermeiden. Wurde nun auch die Wellentheorie für eine Zeit aufgehalten, so gewann sie doch in der Zwischenzeit an Kraft, und ihre Entwicklung war im letzten halben Jahrhundert so rasch

und so siegreich, dass sie alle Nebenbuhler aus dem Felde schlug.

Wir müssen uns jetzt zur Prüfung einer neuen Classe von Erscheinungen wenden, die die Wellentheorie allein genügend erklären kann. Newton, der mit dem Gedanken des Aethers vertraut war und ihn in einige seiner Speculationen einführte, warf, wie schon gesagt, ein, dass wenn das Licht aus Wellen bestände, kein Schatten existiren könnte; denn die Wellen würden sich um die Ecken der dunkeln Körper beugen und den Aether dahinter bewegen. Er hatte recht darin, dass diese Beugung eintreten müsste, aber unrecht in der Annahme, dass sie nicht einträte. Die Beugung ist thatsächlich vorhanden, obgleich für gewöhnlich durch die Wirkung der Interferenz verhüllt. Diese Beugung des Lichtes wird Diffraction genannt.

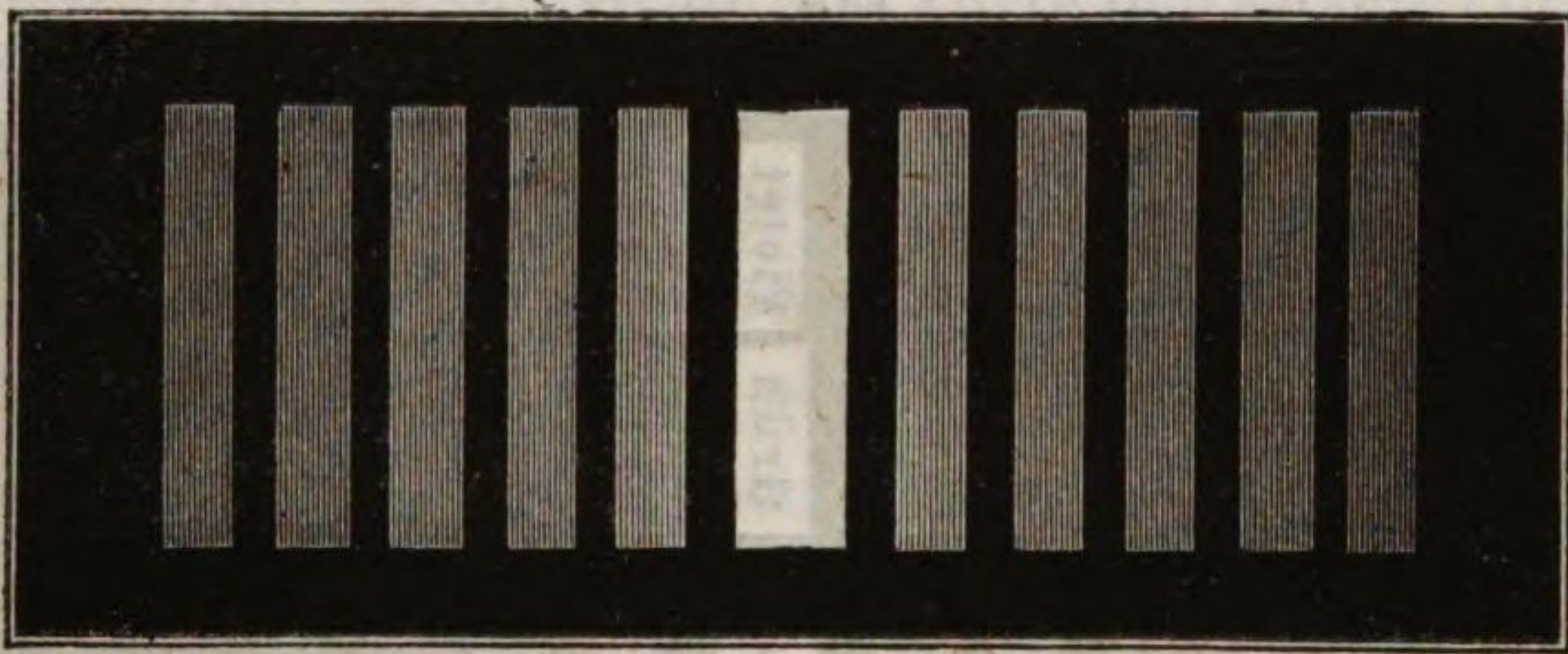
Damit wir die Erscheinung der Diffraction gründlich untersuchen können, muss unsere Lichtquelle ein physikalischer Punkt oder eine dünne Linie sein; denn wenn wir leuchtende Oberflächen anwenden, so verdunkeln und neutralisiren sich die Wellen, die von verschiedenen Punkten der Oberfläche ausgehen. Wir erhalten einen Lichtpunkt von grosser Intensität, wenn wir die parallelen Sonnenstrahlen durch eine Oeffnung eines Fensterladens einfallen lassen und die Strahlen durch eine Linse von kurzer Brennweite ansammeln. Das kleine Sonnenbild im Focus giebt einen passenden Lichtpunkt. Auch das Sonnenbild, das sich auf der convexen Oberfläche einer Glasperle oder auf einem innen geschwärzten Uhrglas bildet, genügt. Man erhält eine intensive Lichtlinie, wenn man das Sonnenlicht durch einen Spalt einfallen und durch starke cylindrische Linsen gehen lässt. Der Lichtstreif wird in der Brennlinie der Linse zu einer physikalischen Linie zusammengezogen. Eine innen ge-

schwärzte Glasröhre, die man in das Licht stellt, reflectirt von ihrer Oberfläche eine leuchtende Linie, die, obgleich weniger intensiv, doch schon dem Zweck entspricht.

In dem Versuch, den wir jetzt beschreiben wollen, wird ein verticaler Spalt von veränderlicher Breite vor die elektrische Lampe gestellt, und dieser Spalt wird in einiger Entfernung durch einen andern verticalen Spalt beobachtet, der ebenfalls eine veränderliche Oeffnung hat und in der Hand gehalten wird.

Das Lampenlicht wird zuerst einfarbig gemacht, indem man reines rothes Glas vor den Spalt stellt. Wenn sich nun das Auge in der durch beide Spalten

Fig. 18.



gehenden geraden Linie befindet, so beobachtet man eine merkwürdige Erscheinung (wie in Fig. 18). Zuerst sieht man den Spalt vor der Lampe als ein leuchtendes Rechteck von Licht; aber rechts und links davon ist eine lange Reihe von Rechtecken, die an Helligkeit abnehmen und von einander durch Intervalle von absoluter Dunkelheit getrennt sind.

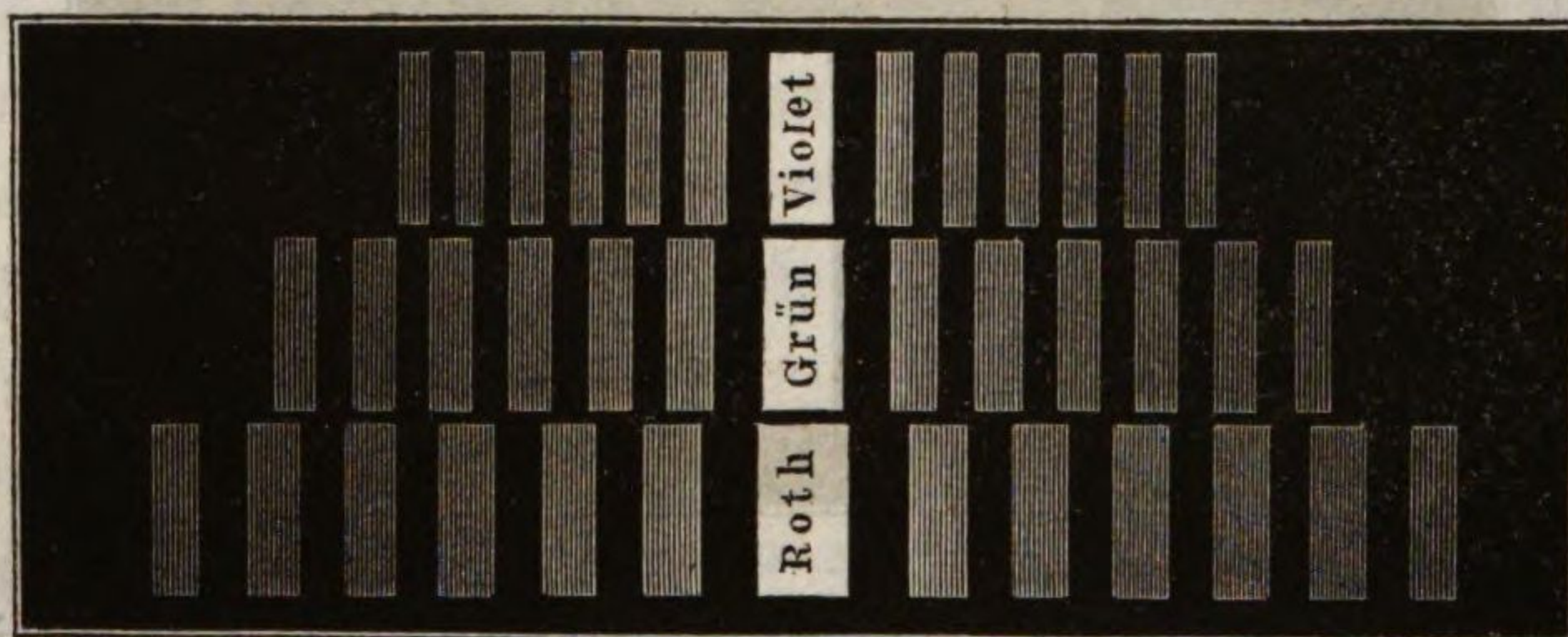
Man sieht, wie die Breite dieser Bänder mit dem Spalt, der vor das Auge gehalten wird, wechselt. Wird der Spalt breiter, so werden die Bänder schmaler und rücken näher zusammen; wird der Spalt schmaler, so werden die einzelnen Bänder breiter, entfernen sich

von einander und lassen grössere dunkle Räume zwischen sich, als vorher.

Lassen wir alles Andere unverändert und stellen nur ein blaues Glas oder eine Lösung von schwefelsaurem Kupferammoniak, die ein sehr reines Blau giebt, in den Weg des Lichtes. Wir erhalten so eine Reihe von blauen Bändern, die in allen Beziehungen, mit einer einzigen Ausnahme, den vorigen gleichen; die blauen Rechtecke sind schmaler und näher beieinander, als die rothen.

Wenden wir Farben von einer dazwischen liegenden Brechbarkeit an, was wir thun können, indem wir die verschiedenen Farben eines Spectrums durch den Spalt

Fig. 19.



fallen lassen, so erhalten wir Farbenbänder, deren Breite dazwischen liegt und die Stellen zwischen denen des Roth und des Blau einnehmen. Das Bild der Bänder in rothem, grünem und violetterm Licht ist in Fig. 19 abgebildet. Fällt also weisses Licht durch den Spalt, so liegen die verschiedenen Farben nicht übereinander, und statt einer Reihe von monochromatischen Bändern, die von einander durch dunkle Intervalle getrennt werden, erhalten wir eine Reihe von farbigen Spectren neben einander. Wird der entfernte Spalt durch eine Kerze statt durch elektrisches Licht erleuchtet, oder wird ein

entfernter, durch einen elektrischen Strom zum Weissglühen gebrachter Platindraht angewandt, so zeigt sich im Wesentlichen dieselbe Erscheinung.

Was bedeuten diese Versuche und wie werden die seitlichen Bilder des Spaltes erzeugt? Hievon und einer grossen Anzahl ähnlicher Resultate vermag die Emissionstheorie keine genügende Erklärung zu geben. Lassen Sie uns sehen, wie die Wellentheorie davon Rechenschaft giebt.

Und hier muss ich mich, wenn wir absolut klar sehen wollen, an jene Eigenschaft wenden, auf deren Bedeutung ich hier und sonst schon so viel Nachdruck gelegt habe — an die Einbildungskraft. Denken Sie sich an den Meeresstrand versetzt und eine schön geformte Welle auf Sie zurollen. Betrachten Sie eine Reihe von Theilchen an der Vorderseite der Welle, die alle in derselben Entfernung unterhalb des Gipfels sind; sie steigen alle in der gleichen Weise und mit derselben Schnelligkeit. Nehmen Sie eine ähnliche Reihe von Theilchen auf der Rückseite der Welle, sie fallen alle in der gleichen Weise und mit derselben Schnelligkeit. Nehmen Sie eine Reihe von Theilchen auf der Höhe der Welle, auch sie sind alle in der gleichen Lage in Beziehung auf die Wellenbewegung. Dasselbe gilt auch für eine Reihe von Theilchen im Thal der Welle.

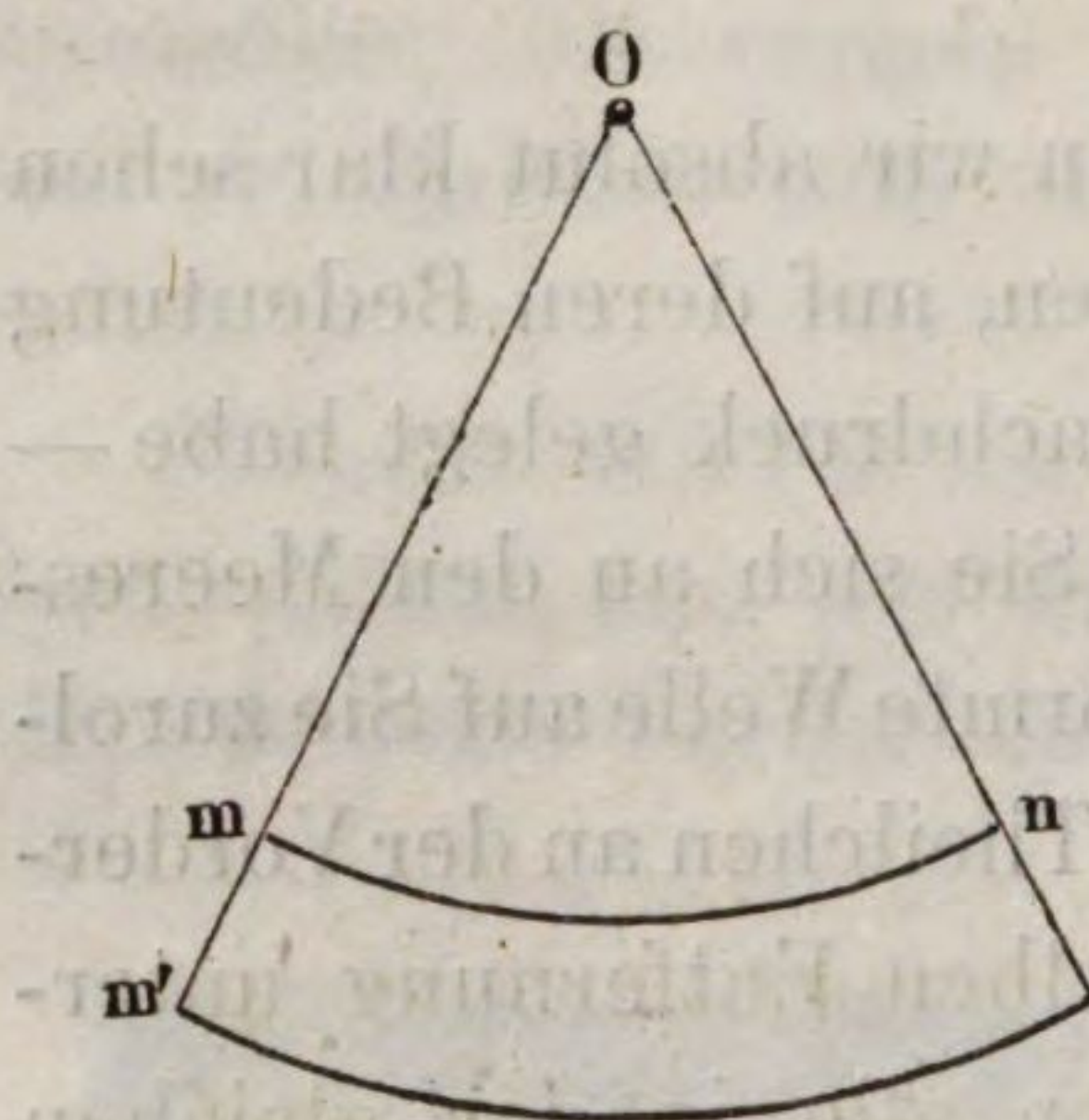
Da die in diesen verschiedenen Lagen befindlichen Theilchen immer in demselben Verhältniss zur Wellenbewegung stehen, so sagt man, sie seien in derselben Phase der Schwingung. Vergleichen Sie aber ein Theilchen vorn an der Welle mit einem im Rücken; oder ganz allgemein, vergleichen Sie irgend welche zwei Theilchen, die nicht dieselbe Stellung in der Welle einnehmen und deren Bewegungsbedingungen nicht dieselben sind, so sagt man, sie seien in verschiedenen Schwingungsphasen.

Liegt eines der Theilchen auf der Höhe, das andere im Thal der Welle, von denen das eine eben steigen, das andere eben sinken will, so sagt man, sie seien in entgegengesetzten Schwingungsphasen.

Es giebt noch einen Punkt von der grössten Wichtigkeit für unsern Gegenstand, den wir uns klar machen müssen.

O (Fig. 20) mag ein Punkt in stillem Wasser sein, der,

Fig. 20.



wenn er erschüttert wird, eine Reihe von kreisförmigen Wellen erzeugt; die Störung, die diese Wellen erzeugt, braucht nur eine auf- und abgehende Schwingung des Punktes O zu sein. mn sei die Lage des Berges einer der Wellen in irgend einem Moment, und $m'n'$ seine Lage ein oder zwei

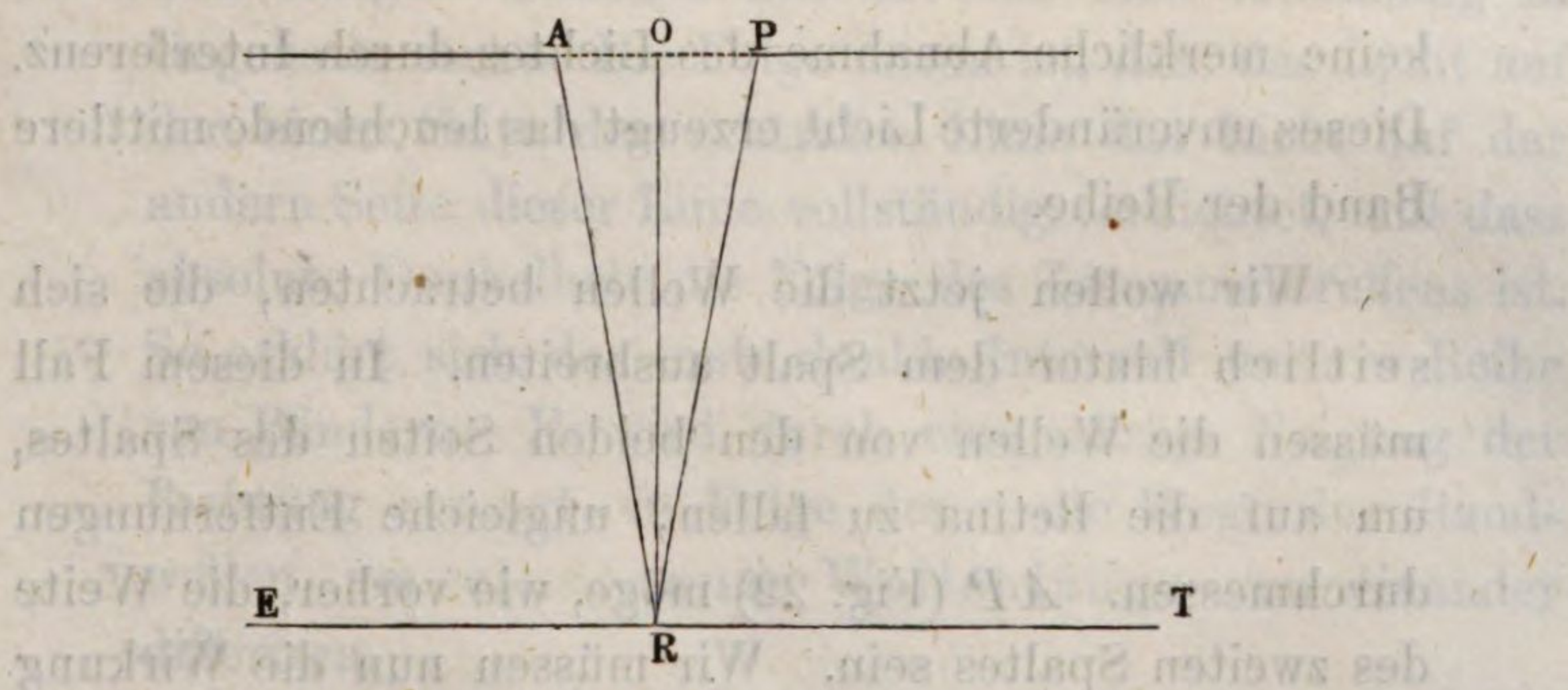
Secunden nachher. Nun schwingt jedes Wassertheilchen, durch welches die Welle hindurchgeht, auf und ab. Wenn aber diese Schwingung genügt, um als Quelle für eine neue Wellenbewegung zu dienen, dann muss jedes einzelne Theilchen der Welle mn solch eine Quelle sein und eine Reihe von kreisförmigen Wellen erzeugen. Zu diesem wichtigen Punkt wollte ich Sie leiten. Jedes Theilchen der Welle mn wirkt so. Nehmen wir jedes Theilchen als einen Mittelpunkt an und umgeben wir es mit einer kreisförmigen Welle, deren Radius der Entfernung zwischen mn und $m'n'$ gleich sei, so würde die Vereinigung all dieser kleinen Wellen eine grössere $m'n'$ aufbauen, gerade wie wir sie in der Natur vorfinden. Hier lösen wir in der That die Wellenbewegung in ihre einzelnen Theile auf, und haben wir dieses erfasst, so haben wir auch keine

grosse Schwierigkeit mehr, wenn wir unsere Kenntnisse auf optische Erscheinungen anwenden wollen.

Kehren wir jetzt zu unserm Spalt zurück und untersuchen wir, der Einfachheit wegen, zuerst das monochromatische Licht. Denken Sie sich eine Reihe von Aetherwellen, die sich vom ersten Spalt aus dem zweiten nähert und endlich den zweiten Spalt ausfüllt. Wenn jede Welle durch den letztern tritt, so verfolgt sie nicht nur den directen Weg zur Retina, sondern schweift auch rechts und links ab und strebt die ganze Aethermasse hinter dem Spalt in Bewegung zu versetzen. Es ist in der That, wie wir schon erklärt haben, jeder Punkt der Welle, die den Spalt ausfüllt, selbst das Centrum eines neuen Wellensystems, das nach allen Richtungen durch den Aether hinter dem Spalt fortgepflanzt wird. Dies ist das berühmte Gesetz von Huyghens. Wir müssen nun untersuchen, wie diese secundären Wellen auf einander einwirken.

Wir wollen zuerst den mittleren Streifen der Reihe betrachten. AP (Fig. 21) sei die Weite der Oeffnung,

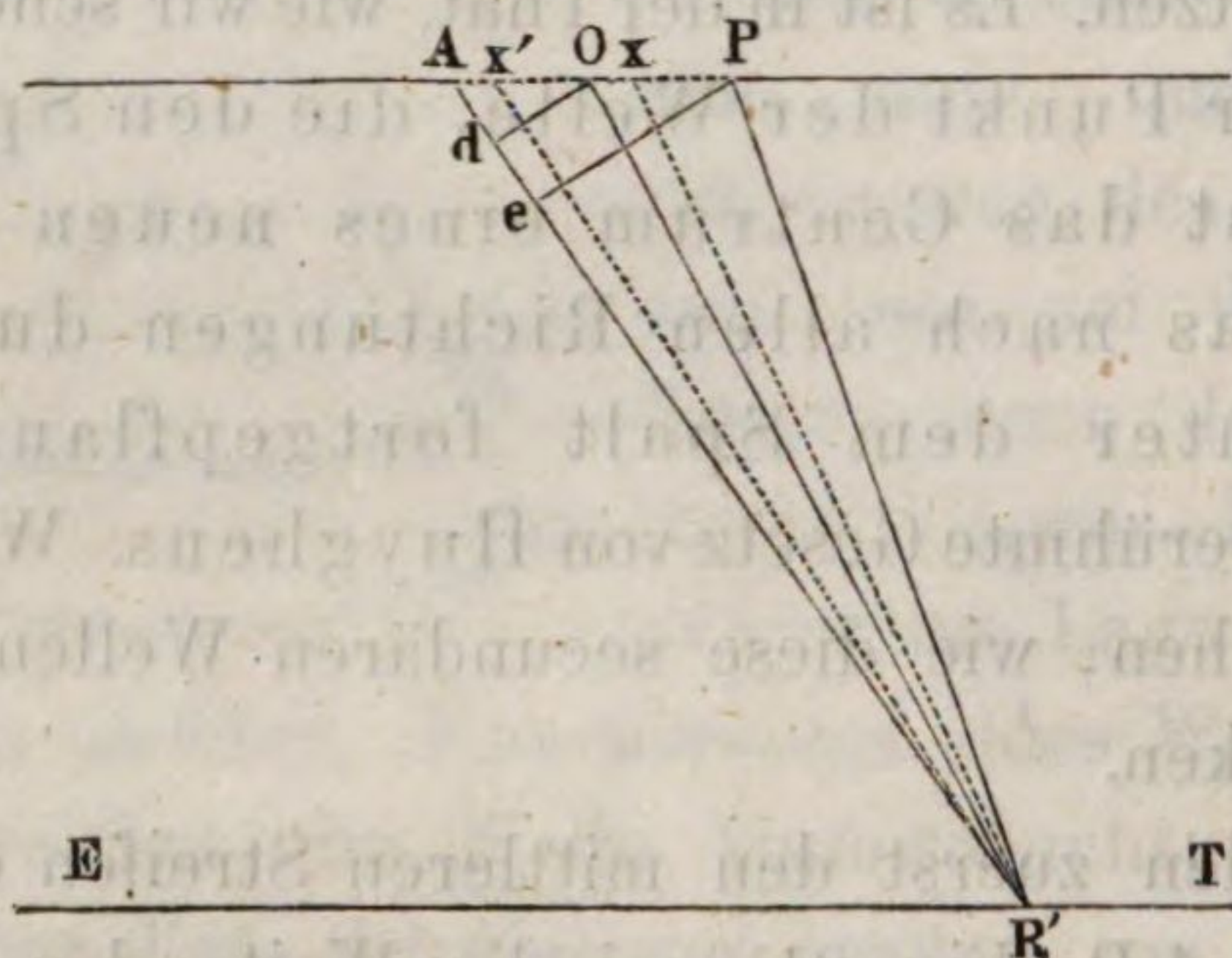
Fig. 21.



die vor das Auge gehalten wird, natürlich sehr vergrössert, und die Pünktchen in der Oeffnung mögen Aethertheilchen

vorstellen, die alle dieselbe Schwingungsphase haben. ET sei ein Theil der Retina. Es werde ein Loth OR von O im Centrum des Spaltes auf die Retina gezogen. Die dem Punkt R mitgetheilte Bewegung wird dann die Summe aller Bewegungen sein, die in dieser Richtung von den Aethertheilchen in dem Spalt ausgehen. Berücksichtigen wir, wie ausserordentlich klein die Oeffnung ist, so können wir ohne besondern Irrthum annehmen, dass alle Punkte der Welle AP gleich entfernt von R seien. Keine der

Fig. 22.



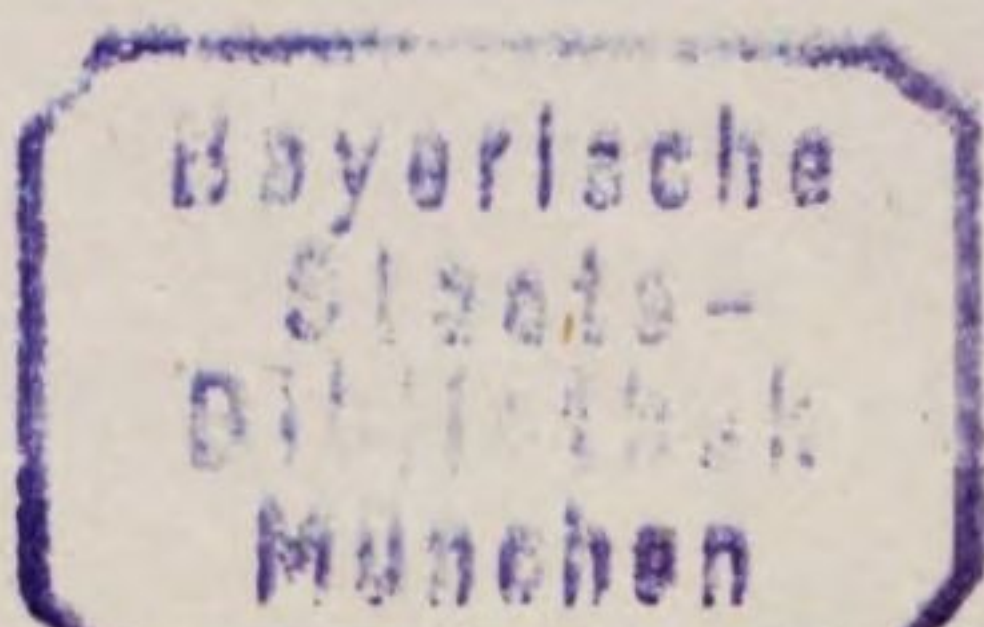
partiellen Wellen bleibt merklich hinter den anderen zurück; daher haben wir bei R und in seiner unmittelbaren Nähe keine merkliche Abnahme des Lichtes durch Interferenz. Dieses unveränderte Licht erzeugt das leuchtende mittlere Band der Reihe.

Wir wollen jetzt die Wellen betrachten, die sich seitlich hinter dem Spalt ausbreiten. In diesem Fall müssen die Wellen von den beiden Seiten des Spaltes, um auf die Retina zu fallen, ungleiche Entfernungen durchmessen. AP (Fig. 22) möge, wie vorher, die Weite des zweiten Spaltes sein. Wir müssen nun die Wirkung der verschiedenen Theile der Welle AP auf einen Punkt R' der Retina beobachten, der nicht in der Linie liegt, die

die beiden Spalten verbindet. Nehmen wir den besondern Fall an, dass der Längenunterschied der beiden von den Rändern ausgehenden Strahlen AR' und PR' bis zum Auge eine ganze Wellenlänge von rothem Lichte betrage; wie muss dieser Unterschied auf die endliche Beleuchtung der Retina wirken?

Wir wollen unsere Aufmerksamkeit auf die besondere schräge Linie lenken, die von dem Centrum O des Spaltes zur Retina bei R' gezogen ist. Der Unterschied zwischen den Wegen der Wellen, welche diese Linie und welche die Linien von den beiden Punkten A und P durchmessen, ist in dem hier angenommenen Fall eine halbe Wellenlänge. Machen wir eR' gleich PR' , verbinden P und e , und ziehen Od parallel zu Pe . Dann ist Ae die Länge einer Lichtwelle, während Ad eine halbe Wellenlänge hat. Bei geringem Nachdenken wird es Ihnen klar werden, dass dies nicht nur der Unterschied zwischen den centralen und Randwellen ist, sondern dass jeder Wellenlinie, wie xR auf der einen Seite von OR' , eine Linie $x'R'$ auf der andern Seite von OR entspricht, deren Weg um eine halbe Wellenlänge von dem ihrigen differirt, mit der sie also vollständig in Gegensatz steht. Die Folge davon ist, dass das Licht auf der einen Seite der centralen Linie das Licht auf der andern Seite dieser Linie vollständig vernichtet, und dass absolute Dunkelheit die Folge des Zusammentreffens ist. So erklärt sich das erste dunkle Intervall unserer Reihe von Bändern. Es wird durch eine schräge Neigung der Richtung erzeugt, in Folge deren die Wege der Randwellen um eine ganze Wellenlänge von einander differiren.

Ist der Unterschied zwischen den Wegen der Randwellen eine halbe Wellenlänge, so wird eine theilweise Vernichtung des Lichtes bewirkt. Die Lichtinten-



sität, die ihrer schrägen Richtung entspricht, beträgt etwas weniger als die Hälfte — genau 0.4 — des ungebeugten Lichtes.

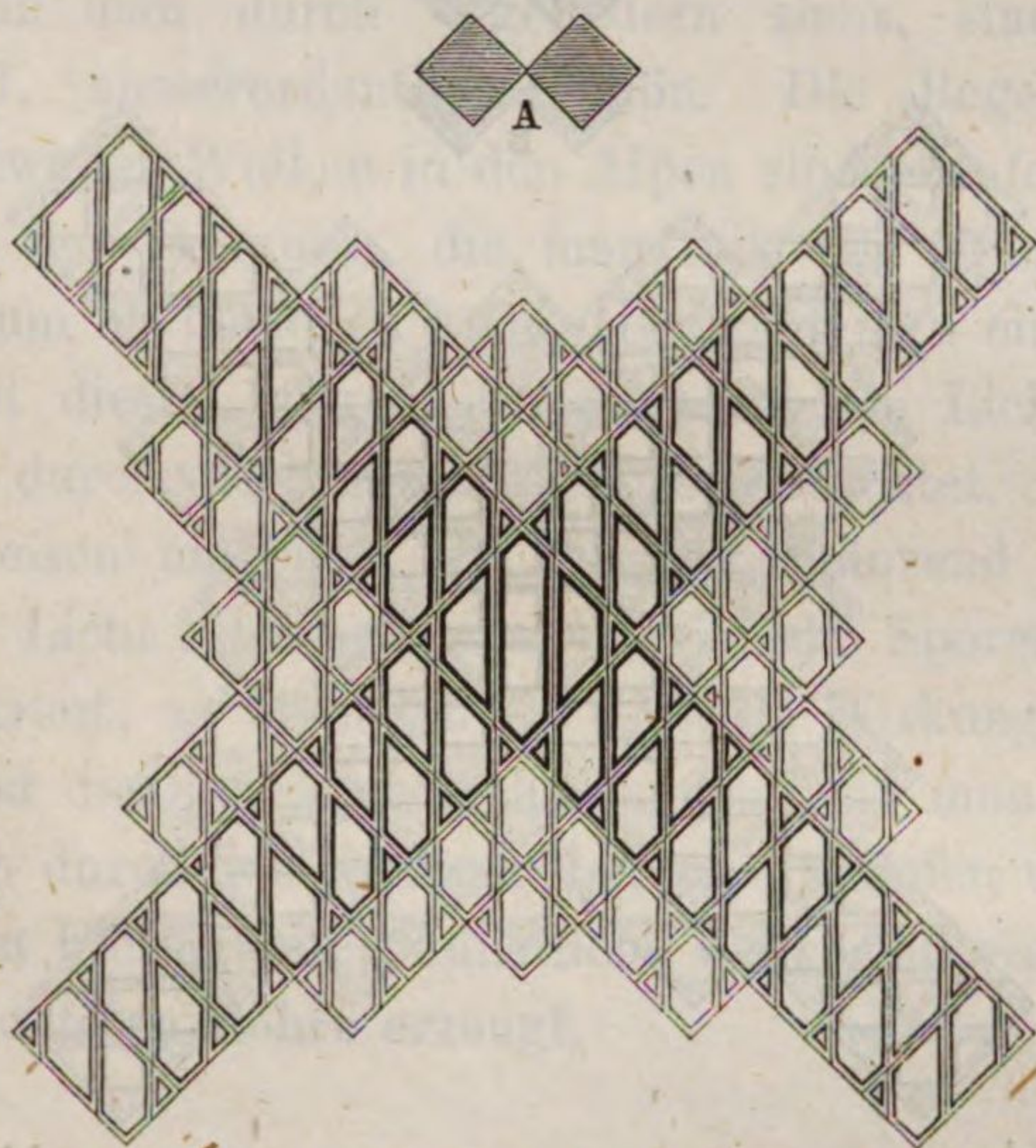
Sind die Wege der Randwellen um drei halbe Wellenschwingungen von einander verschieden, und wird der ganze Strahl in drei gleiche Theile getheilt, so werden sich zwei von diesen Theilen aus dem angegebenen Grunde vollkommen neutralisiren und nur der dritte wird wirksam sein. Wir haben daher ein leuchtendes Band, das der Neigung entspricht, die einen Unterschied von drei halben Schwingungen in den Randwellen erzeugt, und somit weit weniger intensiv ist, als der nicht gebeugte neutrale Streifen.

Bei einem Unterschied der Randwellen von vier halben Wellenschwingungen haben wir eine zweite Auslöschung des ganzen Strahles, da hier der Strahl in vier gleiche Theile getheilt werden kann, von denen sich immer zwei gegenseitig auslöschen. Ein zweiter Raum von absoluter Dunkelheit wird daher der Neigung entsprechen, die diesen Unterschied erzeugt. Wir könnten auf diese Weise fortfahren und das Resultat würde immer dasselbe sein. Da, wo die Richtung der Wellenbewegung eine solche ist, dass der Gangunterschied der Randstrahlen eine gerade Zahl von halben Schwingungen beträgt, würden wir eine vollständige Auslöschung beobachten; während da, wo der Unterschied eine ungerade Zahl von halben Schwingungen beträgt, nur eine theilweise Auslöschung eintritt und ein Theil des Strahles als leuchtendes Band zurückbleibt.

Nach einer kurzen Ueberlegung wird es Ihnen klar werden, dass, je weiter der Spalt, desto geringer die Neigung der Richtung zu sein braucht, um die nöthige Verschiedenheit des Ganges zu erzeugen. Daher werden bei einem

breiten Spalt, wie schon angeführt, die Bänder dichter bei einander liegen, als bei einem schmalen. Klar ist auch, dass, je kürzer die Welle, desto geringer auch die Neigung zu sein braucht, um die nothwendige Verzögerung zu erzeugen. Die Maxima und Minima des violetten Lichtes müssen daher dem Centrum näher liegen, als die Maxima und Minima des rothen Lichtes. Die Maxima und Minima der anderen Farben liegen zwischen diesen

Fig. 23.

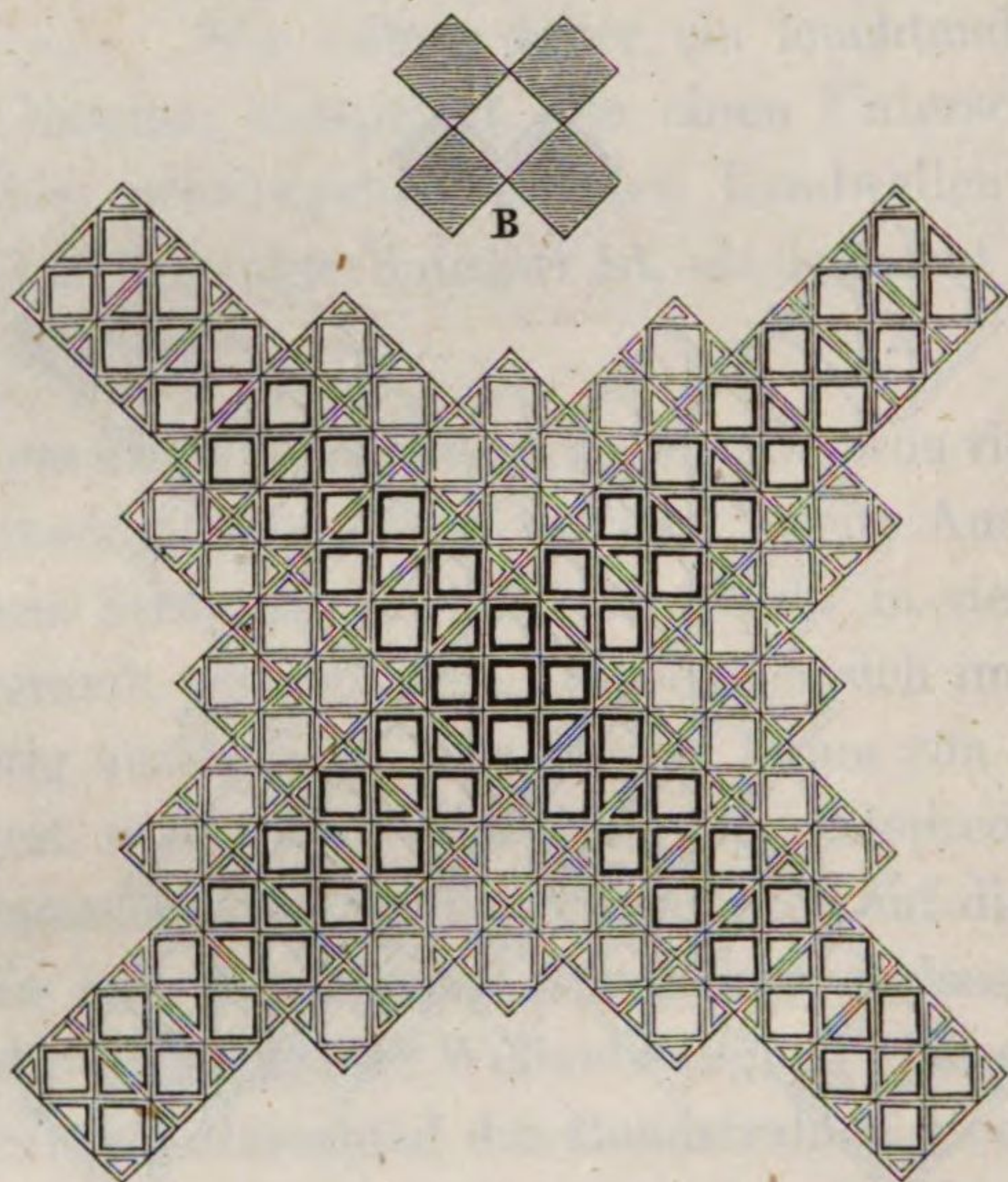


beiden Grenzen. In so einfacher Weise erklärt die Wellentheorie vollständig die oben angeführten merkwürdigen Erscheinungen.

Benutzt man einen Spalt und ein Teleskop statt des Spaltes und des blossen Auges, so werden die Erscheinungen vergrößert und glänzender. Sieht man durch ein richtig eingestelltes Teleskop auf einen entfernten Lichtpunkt, vor dem eine kleine kreisrunde Oeffnung

steht, so ist der Punkt von einer Reihe kreisförmiger gefärbter Bänder umschlossen. Wendet man monochromatisches Licht an, so sind diese Bänder einfach hell und dunkel, doch bei weissem Licht spielen die Kreise in Regenbogenfarben. Wird der Spalt so verkürzt, dass er eine quadratische Oeffnung bildet, so haben wir zwei Reihen von Spectren, die in einem rechten Winkel gegen einander

Fig. 24.



geneigt sind. Die Erscheinungen können unendlich verändert werden, indem man die Grösse, Gestalt und die Zahl der Oeffnungen verändert, durch die der Lichtpunkt beobachtet wird. Durch zwei viereckige Oeffnungen, deren Ecken sich bei *A* berührten, beobachtete Schwebd die Erscheinung, wie sie Fig. 23 (a. v. S.) zeigt. Als er zu ihnen zwei andere hinzufügte, wie bei *B*, beobachtete er die in Fig. 24 dargestellte Erscheinung. Die Lage jedes

Licht- und Schattenstreifens in diesen Figuren ist aus der Theorie von Fresnel, Frauenhofer, Herschel, Schwerd und Anderen berechnet worden und durch den Versuch vollkommen bestätigt. Ihre Augen könnten Ihnen nicht mit grösserer Sicherheit die Existenz dieser Bänder beweisen, als die theoretische Berechnung.

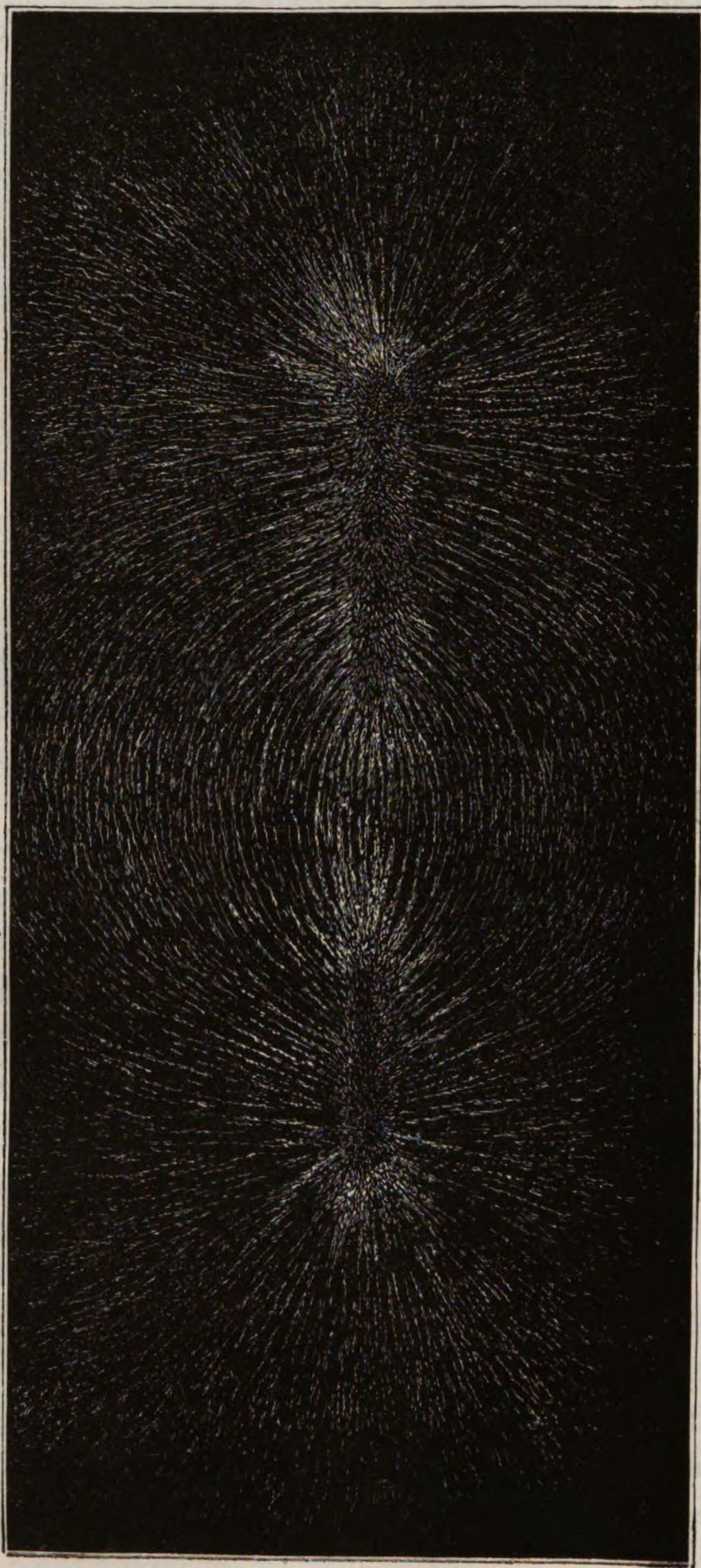
Sieht man die Strassenlaternen bei Nacht durch das Gewebe eines Taschentuchs an, so zeigen sie Beugungserscheinungen. Die Beugungserscheinungen, die man erhält, wenn man durch Vogelfedern sieht, sind, nach Schwerd, ausserordentlich schön. Die Regenbogenfarben gewisser Wolken in den Alpen sind ebenfalls eine Wirkung der Beugung, die man mit den Sporen von *Lycopodium* nachmachen kann. Bestreut man eine Glasplatte mit diesen Sporen, so erscheint ein Lichtpunkt, den man durch die bestäubte Platte betrachtet, von farbigen Kreisen umgeben, die äusserst glänzend werden, wenn das Licht sehr hell ist. Werden die Sporen in die Luft gestreut, so erzeugen sie dieselbe Wirkung. Sehr schön sind die Beugungserscheinungen, die man erhält, wenn man durch den Niederschlag von Dämpfen von verschiedenen Flüssigkeiten künstliche Wolken in einer sehr hell erleuchteten Röhre erzeugt.

Einer der interessantesten Fälle von Beugung durch kleine Theilchen, den ich je erlebt habe, beobachtete ich an einem Künstler, der alle Gegenstände von lebhaft gefärbten Kreisen umgeben sah. Er war in grosser Sorge, seine Sehkraft zu verlieren, und führte als Grund seiner wachsenden Furcht an, dass die Kreise grösser und die Farben lebhafter würden. Ich schrieb die Farben kleinen Theilchen in der Flüssigkeit des Auges zu und wagte es, ihm

Muth einzusprechen durch die Versicherung, dass das Wachsen der Kreise an Grösse und Glanz anzeige, dass die beugenden Theilchen kleiner würden und dass sie vielleicht zuletzt ganz absorbirt werden könnten. Meine Prophezeiung traf ein. Es ist unnöthig, ein Wort darüber zu verlieren, wie nothwendig die Kenntniss der Optik für den praktischen Augenarzt ist.

Ohne vorläufig auf die farbigen Erscheinungen in den Krystallen einzugehen, muss ich zwei andere Farbenquellen hier erwähnen. Durch die Interferenz in der Erdatmosphäre löscht sich das Licht eines Sternes, wie Arago gezeigt hat, selbst aus; das Flimmern des Sternes und der Farbenwechsel, den er zeigt, sind dieser Ursache zuzuschreiben. Sehen wir durch ein Opernglas solch einen Stern an und schütteln das Glas so, dass das Bild des Sternes rasch über die Retina geht, so erzeugen wir eine Reihe von farbigen Perlen, deren Zwischenräume den Perioden des Auslöschens entsprechen. Feine Risse, die man in Glas oder in polirtes Metall zieht, reflectiren die Lichtwellen an ihren Seiten; und einige, die von den entgegengesetzten Seiten derselben Furche reflectirt werden, interferiren und löschen einander aus. Doch bei der Neigung der reflectirten Strahlen, bei welcher die kürzeren Wellen ausgelöscht werden, werden die längeren nicht ausgelöscht, und daher treten Farbenerscheinungen auf. Man nennt diese die Farben der gestreiften Oberflächen. Sie zeigen sich sehr schön bei der Perlmutter. Diese Muschel besteht aus ausserordentlich dünnen Schichten, die, wenn man sie beim Poliren der Muschel durchschneidet, ihre Ränder zeigen und dazwischen die erforderlichen kleinen und regelmässigen Furchen liefern. Den entscheidensten Beweis, dass die

Farben dem mechanischen Zustand der Oberfläche zuzuschreiben sind, können wir wohl in der von Brewster beobachteten Thatsache finden, dass, wenn wir die Muschel vorsichtig auf schwarzes Siegelack drücken, wir darauf die Furchen übertragen und so auch auf dem Siegelack die Farben der Perlmutter erzeugen.



Dritte Vorlesung.

Beziehung zwischen Theorie und Erfahrung. — Entstehung des Begriffes der Anziehung bei der Gravitation. — Begriff der Polarität, seine Entstehung. — Polarität der Atome. — Die Structur rührt von der Polarität her. — Bau der Krystalle, betrachtet als Einleitung zum Studium ihrer Wirkung auf das Licht. — Begriff der Polarität der Atome in Bezug auf die Krystallstructur. — Versuche dazu. — Krystallisation des Wassers. — Ausdehnung durch Wärme und Kälte. — Das Verhalten des Wassers betrachtet und erklärt. — Einfluss der Krystallisation auf optische Erscheinungen. — Brechung. — Doppelbrechung. — Polarisation. — Wirkung des Turmalins. — Eigenschaften der aus dem Kalkspath austretenden Strahlen. — Polarisation bei gewöhnlicher Reflexion und Brechung. — Depolarisation.

Eine der Aufgaben, und zwar nicht die wenigst wichtige unserer letzten Vorlesung, war die Betrachtung der allmählichen Entwicklung der wissenschaftlichen Theorien. Sie entspringen zunächst in dem Wunsch des Geistes, bis zu den Quellen der Erscheinungen vorzudringen. Von seinem fast unmerklichen Urbeginn in längstverflossenen Zeiten ist dieser Wunsch zu einem gewaltigen Verlangen des Menschengenies herangewachsen. Von ihm getrieben, erklärte Cäsar, er wollte seine Siege für einen flüchtigen Blick auf die Quellen des Nils hingeben; es zeigte sich in den atomistischen Theorien des Lucrez, es treibt Darwin zu

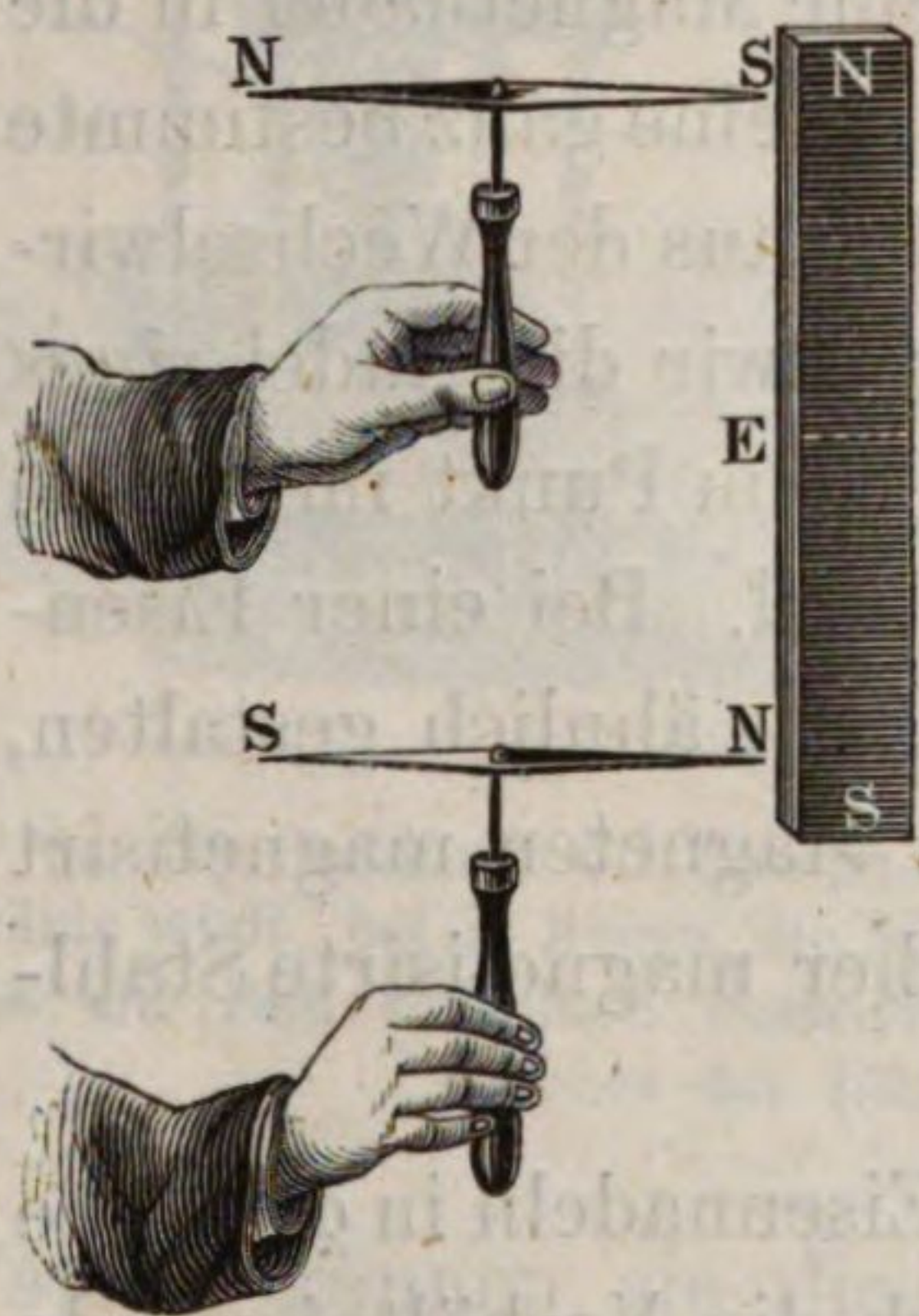
den kühnen Speculationen, die in den letzten Jahren die öffentliche Meinung so bewegt haben. Aber in keinem Fall erschafft die Einbildungskraft bei der Aufstellung von Theorieen selbst ihr Material. Sie vergrössert, verkleinert, verwandelt und verarbeitet je nach den Verhältnissen das Material, das sie der Welt der Thatsachen und der Beobachtung entnimmt.

Es zeigt sich dies besonders deutlich bei einer Theorie, wie der des Lichtes, wo die Bedingungen eines unfühlbaren Mediums, des Aethers, dem Geiste dargestellt werden. Aber keine Theorie entsteht, ohne dass die obige Bedingung erfüllt wäre. Newton hütete sich davor, den Begriff der Gravitation mit unnöthigen physikalischen Anschauungen zu beschweren, aber wir wissen, dass er sie gelten liess, ohne sie jedoch mit seiner Theorie in Verbindung zu setzen. Aber auch die Theorie, wie sie jetzt vor uns liegt, erschloss sich nicht dem Geiste als eine Offenbarung, die unabhängig war von der Welt der Erfahrung. Die Grundlage der Anschauung, dass die Sonne und die Planeten durch eine Anziehungskraft aneinander gehalten werden, liegt in der Beobachtung, dass ein Magnet Eisen anzieht. Der Begriff der Anziehung von Masse auf Masse kam demnach von aussen, nicht von innen. In der vorliegenden Vorlesung muss uns die magnetische Kraft als das Thor dienen, durch das wir in ein nicht direct mit den Sinnen wahrnehmbares Gebiet eindringen, und dazu müssen wir aber zunächst ihre Grundphänomene studiren.

Die Hapterscheinungen des Magnetismus lassen sich am besten an magnetisirten Stahlstäben oder, wie man sie auch nennt, Magnetstäben zeigen. Stellen wir einen solchen Magnetstab vertical auf den Tisch und nähern eine Magnetnadel dem untern Ende desselben, so entfernt

sich das eine Ende der Nadel vom Magneten, während das andere sich ihm ebenso schnell nähert. Die Nadel schwingt dann unter der Einwirkung einer unsichtbaren auf sie ausgeübten Kraft fort. Erheben wir die Nadel längst des Magnet, wobei wir aber eine Berührung vermeiden, so nimmt die Schnelligkeit der Schwingungen ab, indem die wirkende Kraft schwächer wird. In der Mitte hören die Schwingungen auf. Ueber der Mitte nähert sich das früher abgestossene Ende der Nadel dem Magnet, während das entgegengesetzte Ende sich von ihm entfernt. Je höher wir steigen, um so lebhafter werden die Schwingungen, indem die Kraft an Stärke zunimmt. An dem oberen und unteren Ende des Magneten erreicht sie ein Maximum; aber der ganze untere Theil des Magneten von *E* bis *S* (Fig. 25) zieht das eine Ende der Nadel an, wäh-

Fig. 25.



rend der ganze obere Theil von *E* bis *N* das andere Ende anzieht. Diese zweifache Wirkung der magnetischen Kraft bezeichnet man mit dem Namen der „Polarität“, und die Punkte an den Enden des Magneten, wo diese Kräfte gleichsam concentrirt erscheinen, heissen die „Pole“.

Was tritt nun aber ein, wenn wir den Magneten in der Mitte *E* entzweibrechen? Wird dann jede Hälfte für sich ebenso wirken, wie sie es als Theil des ganzen Magneten that? Keineswegs; jede Hälfte ist selbst ein vollkommener Magnet und hat zwei Pole. Es lässt sich dies leicht durch Zerbrechen eines weniger werthvollen Magneten, als der vorliegende es ist, etwa

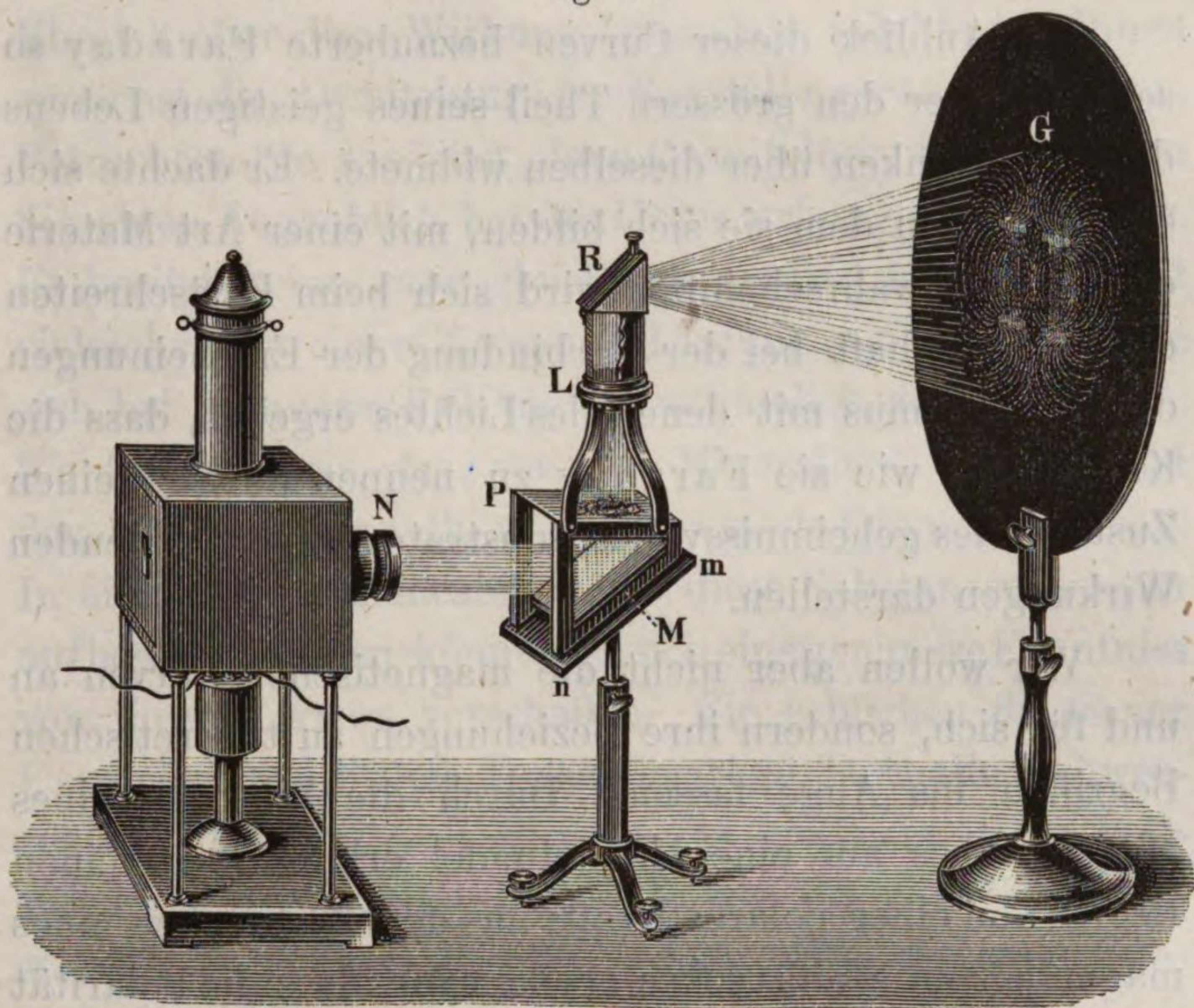
einer gehärteten und magnetisirten Stricknadel nachweisen. Sie wirkt wie ein Magnet. Zerbrochen wirken beide Hälften wie die ganze Nadel; und zerbrechen wir diese Theile wieder, so erhalten wir wieder vollständige Magnete, die wiederum zwei Pole besitzen. Treiben Sie dieses Zerbrechen bis zur äussersten sinnlichen Grenze, so brauchen Sie auch dort noch nicht aufzuhören. Von dem aus der Erfahrung gezogenen Schluss gehen Sie unfehlbar über die Grenzen der Sinne hinaus. Sie werden gezwungen anzunehmen, dass das, was wir magnetische Polarität nennen, sich in den letzten Theilchen des Stahles befindet. Sie kommen zu dem Schluss, dass jedes Atom des Magneten diese polare Kraft besitzt.

Wie alle anderen Kräfte lässt sich auch die magnetische nach mechanischen Gesetzen behandeln; so dass wir, wenn wir ihre Grösse und Richtung kennen, ihre Wirkung vorhersagen können. Bringen wir eine Magnetnadel in die Nähe eines Magnetstabes, so nimmt sie eine ganz bestimmte Lage ein, und zwar lässt sich dieselbe aus der Wechselwirkung der Pole bestimmen. Bewegen wir die Nadel rings um den Magnetstab, so entspricht jedem Punkt im Raume eine einzige bestimmte Lage der Nadel. Bei einer Eisennadel würden sich die Verhältnisse ganz ähnlich gestalten, da sie sich unter dem Einfluss des Magneten magnetisirt und sich dann ebenso, wie eine vorher magnetisirte Stahlnadel, verhält.

Bringen wir zwei oder mehrere Eisennadeln in die Nähe eines Magneten, so compliciren sich die Verhältnisse, da dann auf jede Nadel nicht nur der Magnet, sondern auch alle anderen Nadeln wirken. Gehen wir ferner zu noch kleineren Eisenstücken, etwa Eisenfeilen, über, so verhalten sie sich ebenso, wie die Nadeln, und nehmen unter dem Einfluss des Magnetismus bestimmte Lagen an.

Lege ich ein Blatt Papier oder eine Glasplatte über einen Magnetstab und streue Eisenfeile auf das Papier, so zeigt sich ein Bestreben der Eisenfeile, sich in bestimmten Linien anzuordnen. In Folge der Reibung am

Fig. 26.



N ist die Oeffnung der Lampe, *M* ein ebener Spiegel, der den Strahl aufwärts wirft, bei *P* liegen die Magnete und die Eisenfeile, *L* ist eine Linse, die ein Bild derselben entwirft, und *R* ein total reflectirendes Prisma, welches das Bild *G* auf den Schirm wirft.

Papier können sie diesem Bestreben nicht frei folgen. Ein Schlag erleichtert es ihnen; durch denselben werden sie natürlich auf einen Augenblick vom Papier entfernt und erhalten dadurch eine grössere Beweglichkeit. Diesen Versuch kann ich aber nur allein beobachten. Um es Ihnen Allen zu zeigen, wende ich ein Paar kleine Magnete an und entwerfe durch eine einfache optische Vorrichtung (Fig. 26)

ein vergrössertes Bild derselben auf dem Schirm. Streue ich Eisenfeile über die Glasplatte, an der die kleinen Magnete befestigt sind und erschüttere die Platte, so sehen Sie, wie die Eisentheilchen sich in Curven anordnen, die den Gelehrten seit lange bekannt sind.¹⁾

Der Anblick dieser Curven bezauberte Faraday so sehr, dass er den grössern Theil seines geistigen Lebens dem Nachdenken über dieselben widmete. Er dachte sich den Raum, in dem sie sich bilden, mit einer Art Materie erfüllt, und wahrscheinlich wird sich beim Fortschreiten der Wissenschaft bei der Verbindung der Erscheinungen des Magnetismus mit denen des Lichtes ergeben, dass die Kraftlinien, wie sie Faraday zu nennen pflegte, einen Zustand des geheimnissvollen Substrates aller strahlenden Wirkungen darstellen.

Wir wollen aber nicht die magnetischen Curven an und für sich, sondern ihre Beziehungen zu theoretischen Begriffen ins Auge fassen. Durch die Wirkung eines Magnetstabes auf eine Magnetnadel erhalten wir einen Begriff von einer polaren Kraft; aus dem Zerbrechen eines magnetisirten Stahlstückes ersehen wir, dass die Polarität mit den letzten Theilchen der Materie verbunden sein kann. Der Versuch mit Eisenfeilen erzeugt in dem Geiste eine neue Anschauung, nämlich die der Structur. Je zwei der Eisenfeilspähne besitzen vier Pole, zwei attractive und zwei repulsive. Die attractiven nähern sich, die repulsiven entfernen sich von einander; hieraus ergiebt sich aber eine bestimmte gegenseitige Anordnung der Theilchen.

¹⁾ Sehr schöne Exemplare solcher Curven sind kürzlich von meinem ausgezeichneten Freunde, Prof. Mayer in Hoboken, dargestellt und fixirt worden. Ihm verdanke ich auch das Original zu dem Holzschnitt vor diesem Capitel.

Diese Anschauung der Structur, wie sie durch polare Kräfte erzeugt ist, eröffnet dem Geist den Weg in ein ganz neues Gebiet. Ich bitte Sie, mit mir dies Gebiet zu betreten, da unsere nächste Untersuchung sich auf die Wirkung der Krystalle auf das Licht beziehen wird. Ehe ich aber diese Wirkung behandle, möchte ich Ihnen zunächst die Architektur der Krystalle veranschaulichen. Betrachten Sie zunächst einen Granitblock und verweilen Sie einen Augenblick bei der Untersuchung des Gesteines. Er besitzt keine ganz gleichförmige Textur. Er besteht vielmehr aus einer Zusammenhäufung von Stücken, die sich bei genauerer Prüfung eigenthümlich geformt zeigen. Sie finden darin das, was die Mineralogen Quarz, und das, was sie Feldspath, und das, was sie Glimmer nennen. In einem Mineraliencabinet, wo diese Substanzen einzeln aufbewahrt werden, können Sie sich eine genauere Kenntniss von ihren Formen verschaffen. Sie erblicken da ferner Exemplare von Beryll, Topas, Smaragd, Turmalin, Schwerspath, Flussspath, Kalkspath, ja vielleicht einen vollständig ausgebildeten Diamant, wie ihn die Natur geschaffen hat, ohne dass er vorher durch die Hände des Steinschleifers gegangen ist.

Diese Krystalle sind, wie Sie bemerken werden, nach einem bestimmten Gesetz gebildet; sie sind nicht zufällige Bildungen, und wenn Sie sie genauer untersuchen, so werden Sie finden, dass Ihre Architektur bis zu einem gewissen Grade enträthselt werden kann. Sie lassen sich oft nach gewissen Richtungen mit dem Messer spalten, wobei sich dann glatte und glänzende Flächen, sogenannte Spaltungsflächen, zeigen; verfolgen Sie diese Ebenen, so gelangen Sie manchmal zu Grundformen, die unter der äussern Form des Krystalles versteckt sind. Betrachten Sie diese wunderbaren Gebäude eines unbekannten Bau-

meisters. Unwillkürlich drängt sich Ihnen die Frage danach auf, wie sie erbaut wurden; und da Ihnen jetzt die Anschauung einer polaren Kraft nicht mehr fremd ist und Sie wissen, dass eine solche eine Structur hervorrufen kann, so werden Sie unfehlbar antworten, dass diese Krystalle durch das Spiel polarer Kräfte zwischen den Molekülen erbaut worden sind. In Folge dieser Kräfte legt sich nach ganz bestimmten Gesetzen Atom neben Atom, indem die endliche sichtbare Form nur von der Anordnung der Moleküle abhängt.

Ueberall beobachten wir in der Natur das Bestreben, bestimmte Gestalten anzunehmen, und Nichts ist leichter, als dieses Bestreben durch künstliche Versuche zur Anschauung zu bringen. Man löse Salpeter in Wasser und lasse das letztere langsam verdunsten; der Salpeter bleibt zurück und die Lösung wird so concentrirt, dass der flüssige Zustand nicht länger bestehen kann. Die Salpetermoleküle nähern sich einander und kommen endlich in den Bereich ihrer polaren Kräfte. Gemäss diesen Kräften ordnen sie sich an, und ein ganz kleiner Salpeterkrystall wird zunächst gebildet. Auf diesem lagern sich dann die Moleküle aus der umgebenden Flüssigkeit ab. Der Krystall wächst, und endlich erhalten wir grosse Prismen aus Salpeter, von denen jedes eine vollständig bestimmte Gestalt besitzt. Alaun krystallisirt sehr leicht auf eben dieselbe Art. Der resultirende Krystall unterscheidet sich indessen in seiner Gestalt von dem des Salpeters, da bei beiden die Pole der Moleküle verschieden angeordnet sind. Zieht man solche Krystalle mit hinlänglicher Sorgfalt, so wachsen sie bis zu beträchtlicher Grösse.

Die Bedingung zur vollständigen Ausbildung der Krystalle ist, dass die Krystallisationskraft langsam wirken kann. Es darf dabei keine Ueberstürzung eintreten, son-

dern jedes Molekül muss ungestört von seinen Nachbarn frei sein eigenes Molekularrecht ausüben können. Erfolgt die Krystallisation zu schnell, so verschwindet die Regelmässigkeit. Man kann heisses Wasser mit Soda sättigen und darauf abkühlen lassen. Die kalte Lösung ist dann übersättigt, d. h. sie enthält mehr Substanz gelöst, als eigentlich ihrer Temperatur entspricht. Dennoch zeigen die Moleküle kein Zeichen einer Aneinanderlagerung.

Dies ist eine, wenn auch sehr gewöhnliche, doch sehr eigenthümliche Thatsache. Die Moleküle im Innern der Flüssigkeit sind derart von ihren Nachbarn festgehalten, dass sie ihrem eigenen Bestreben nicht frei folgen können. Richten Sie Ihre Aufmerksamkeit auf ein Molekül in der Gesamtmasse. Es möchte sich gern mit seinen Nachbarn zur Rechten verbinden, aber ebenso mit denen zu seiner Linken; so vereinigt es sich mit keinem von beiden. Wir haben hier, übersetzt in Molekularwirkungen, das wohlbekannte Bild des zaudernden Esels zwischen zwei gleich einladenden Heubündeln. Wird aber ein Sodakrystall in die Lösung getaucht, so hört die Unschlüssigkeit der Moleküle auf. Die dem Krystall nächstliegenden Moleküle werden sich sogleich auf ihm niederschlagen; auf diese werden wieder andere niederfallen und es wird sich dies durch das ganze Gefäss fortsetzen, bis die ganze Flüssigkeit, so weit es möglich ist, feste Form angenommen hat. Die hierbei erzeugten Krystalle sind klein und liegen wirr durcheinander. Der Process ist zu schnell vor sich gegangen, um die Krystallisationskraft rein zur Wirkung kommen zu lassen. Es entspricht dies dem Zustand einer Nation, in der man sich einer natürlichen und wohlthätigen Veränderung so lange widersetzt hat, bis die Gesellschaft mit dem Wunsch nach Veränderung gleichsam übersättigt ist; letztere tritt dann plötzlich in Folge von

Unordnung und Revolution ein, die eine weise Vorsicht hätte verhindern können.

Gestatten Sie mir, Ihnen die Wirkung der Krystallisationskraft an zwei Beispielen zu zeigen: Ich könnte Salpeter anwenden; eine andere wohlbekannte Substanz eignet sich aber besser zu diesem Versuch. Es ist dies in Wasser gelöster Salmiak oder Chlorammonium. Ich reinige eine Glasplatte vollständig, giesse eine Lösung des Salzes darauf und lasse dieselbe dann abtropfen, so dass nur eine dünne Schicht der Flüssigkeit haften bleibt. Erwärme ich nun das Glas schwach, so tritt eine Verdampfung ein, der jedoch nur das Wasser unterliegt. Ich bringe jetzt die Platte in ein Sonnenmikroskop und werfe ein Bild der Flüssigkeitsschicht auf einen weissen Schirm. Durch die Wärme der erleuchtenden Strahlen wird die Verdampfung so beschleunigt, dass binnen sehr kurzer Zeit das gelöste Salz nicht mehr in flüssiger Form bestehen kann. Molekül lagert sich an Molekül, und Sie sehen deutlich, wie sich die Krystallisation über den ganzen Schirm verbreitet. Etwas ganz Aehnliches können Sie hervorrufen, wenn Sie im Winter auf die Eisblumen an den Fenstern hauchen und dann mit einem Vergrösserungsglase das Wiedergefrieren des Wassers beobachten.

In diesem Fall ist die Krystallisationskraft durch die Adhäsion der Flüssigkeit am Glas gehindert, nichtsdestoweniger zeigt sich ihr Spiel sehr schön. Oft gehen die Krystalle von einer Ecke der Schicht aus und durchziehen sie von dort aus; wenn nämlich einmal die Krystallisation begonnen hat, so lagern sich die Moleküle am liebsten auf den bereits gebildeten Krystallen ab. Oft geht die Krystallisation von bestimmten Punkten im Innern der Flüssigkeit aus, indem jedes in der Flüssigkeit befindliche krystallinische Theilchen einen Ausgangspunkt für die Kry-

stallisation bildet. Während des ganzen Processes beobachten Sie aber eine Erscheinung, die vollständig constant ist, das ist die Grösse der Winkel. Die Zweige entspringen aus dem Stamm und von diesen Zweigen gehen wieder andere aus; aber die von den Zweigen gebildeten Winkel sind unveränderlich. Ebenso können Sie Alaunkrystalle, Quarzkrystalle und alle anderen Krystalle in der verschiedenartigsten Gestalt finden. Soweit unterliegen Sie den Zufälligkeiten der Krystallisation, aber in einem Punkt sind Sie über alle Zufälligkeiten erhaben. Die Grösse der Winkel ist stets genau dieselbe.

Mein zweites Beispiel für die Wirksamkeit der Krystallisationskraft ist folgendes: Sie wissen, dass, wenn wir durch eine Flüssigkeit einen galvanischen Strom leiten, die Flüssigkeit zersetzt wird, und dass, wenn sie ein Metall enthält, dies elektrolytisch abgeschieden wird. Dies kleine Gefäss enthält eine Lösung von essigsaurem Blei (Bleizucker); wir haben sie gewählt, weil sich das Blei sehr leicht in Krystallen anordnet. In dies Gefäss tauchen zwei sehr dünne Platindrähte, die durch andere Drähte mit einer kleinen Volta'schen Säule verbunden sind. Leiten wir den Strom durch die Lösung, so wird das Blei von den Atomen, mit denen es bis jetzt verbunden war, langsam abgetrennt; es wird sich auf einem der beiden Drähte ausscheiden und im Augenblick der Ausscheidung den polaren Kräften seiner Atome folgen und dadurch krystallinische Formen von ausgezeichneter Schönheit hervorbringen. Sie haben sie jetzt vor sich; wie Farnkräuter aus dem Drahte sprossend sehen sie aus wie Vegetabilien, deren Wachsthum so schnell ist, dass es dem Auge sichtbar wird. Kehren wir den Strom um, so wird sich das schöne Bleilaub auflösen, während von dem andern Draht Bleifäden in die Flüssigkeit schiessen. Sofort

beginnt das Wachsen des Bleibaums von Neuem, doch diesmal am andern Draht.

Bei dem Krystallisationsprocess enthüllt sich die Natur zuerst als Baumeister. Wo hört ihre Thätigkeit auf? Bildet sie mit denselben Kräften die Pflanze und dann das Thier! Welches auch die Antwort auf diese Fragen sein mag, das dürfen Sie als sicher annehmen, dass die Anschauungen der späteren Generationen über das geheimnissvolle Wesen, das Manche „rohe Materie“ genannt haben, ganz andere sein werden, als die der früheren Generationen.

Es giebt kaum ein schöneres und lehrreicherer Beispiel für das Spiel der molekularen Kräfte, als das, welche uns das Wasser liefert. Sie haben die prächtigen farnartigen Gebilde gesehen, die sich bei der Krystallisation einer dünnen Wasserschicht auf einer kalten Fensterscheibe bilden. Sie haben wahrscheinlich auch die schönen Rosetten beobachtet, die während eines Schneefalles an einem recht ruhigen Tag durch die Krystallisationskraft gebildet sind. Die Hänge und Gipfel der Alpen sind im Winter mit diesen Eisblüthen bedeckt. Sie sind unendlich mannigfaltig in den Einzelheiten ihrer Schönheit, aber die Grösse der Winkel bleibt stets dieselbe; eine unveränderliche Kraft verbindet die Speere und Nadeln unter Winkeln von 60° .

Auch in der Ablagerung des gewöhnlichen Eises auf unseren Seen macht sich derselbe Winkel geltend. Sie können zuweilen in gefrierendem Wasser kleine sternförmige Krystalle beobachten; jeder Stern besteht aus sechs Strahlen, die Winkel von 60 Grad unter einander bilden. Dieselbe Structur können wir auch im gewöhnlichen Eise auffinden. In einem Sonnenstrahl oder in Ermangelung dessen in unserm elektrischen Strahl besitzen wir ein Hilfsmittel, das fein genug ist, um die ge-

frorenen Moleküle von einander zu lösen, ohne doch ihre Architektur zu zerstören. Schneiden wir aus klarem, unversehrtem, regelmässig gefrorenem Eise eine Platte parallel den Gefrierungsflächen und senden einen Sonnenstrahl durch solch eine Platte, so schmilzt er das Eis im Innern an einzelnen Punkten, und um jeden derselben bildet sich eine prächtige sechsblättrige Wasserblume. So bilden sich viele derartige Blumen. Aus einem Eiskeller erhalten wir manchmal Eisstücke, die trübe Partien in der sonst continuirlichen Masse zeigen; untersuchen wir die Ursache dieser Trübung, so finden wir, dass sie von Myriaden sechsblättriger Blumen herrühren, in die das Eis nur durch die zugeleitete Wärme aufgelöst worden ist.

Es lohnt sich, noch einen Augenblick bei der Krystallisation des Wassers zu verweilen; denn die vielen Eigenschaften, durch welche diese Substanz eine so wichtige Rolle in der Natur zu spielen vermag, muss unsere Bewunderung erregen und unsern Geist anspornen. Wie fast alle anderen Substanzen wird Wasser durch die Wärme ausgedehnt und durch die Kälte zusammengezogen. Lassen Sie uns zunächst diese Ausdehnung und Contraction betrachten.

Eine kleine Flasche ist mit gefärbtem Wasser gefüllt und mit einem Kork verstopft. Durch den Kork geht wasserdicht ein Glasrohr, so dass letzteres bis zu einer bestimmten Höhe mit Flüssigkeit gefüllt ist. Die Flasche und die Röhre entsprechen der Kugel und der Röhre eines Thermometers. Erwärmen wir das Wasser mit einer Spirituslampe, so steigt es in dem Rohr und tritt zuletzt durch sein oberes Ende aus. So zeigt sich die Ausdehnung durch die Wärme.

Entfernen wir nun die Lampe und umgeben die Flasche mit einer Kältemischung, so fällt die Flüssigkeits-

säule und zeigt dadurch die Contraction des Wassers in Folge der Kälte an. Wirkt die Kältemischung weiter, so sinkt die Säule bis zu einem bestimmten Punkt. Hier bleibt ihr oberes Ende einige Secunden stehen, um dann wieder zu steigen. Die Contraction hat aufgehört und eine Ausdehnung durch die Kälte tritt ein. Wir lassen die Ausdehnung fortschreiten, bis die Flüssigkeit zum zweiten Mal über das Ende des Rohres tritt. Die Kältemischung hat allem Anschein nach dieselbe Wirkung wie die Flamme gethan. Bei dem Wasser hört bei 4° Celsius die Contraction durch die Kälte auf und fängt die Ausdehnung durch dieselbe an. Die Krystallisation hat hier im Verborgenen begonnen, indem sich die Moleküle zu dem bei 0° erfolgenden Act des Festwerdens vorbereiten, wobei dann auch das Maximum der Ausdehnung erreicht wird. In Folge dieser Ausdehnung ist, wie Sie wissen, Eis im Verhältniss von 8:9 leichter als Wasser¹⁾.

Ein höchst interessantes Problem der Molekularphysik liegt in diesem Verhalten und ich möchte deshalb ver-

¹⁾ In einem kleinen Werke, „the forms of water“, habe ich erwähnt, dass kaltes Eisen auf geschmolzenem schwimmt. Gemeinsam mit meinem Freund Armstrong hatte ich Gelegenheit, diese Thatsache in seinem Eisenwerk zu Elswick 1863 zu beobachten. Faraday äusserte, wie ich mich erinnere, mir gegenüber später die Meinung, dass die Vollkommenheit der Eisenabgüsse wahrscheinlich von der Ausdehnung des Metalls beim Erstarren herrühre. Ich habe diesem Gegenstand keine weitere Aufmerksamkeit gewidmet, und ich weiss, dass manche tüchtige Eisengiesser an der Ausdehnung zweifeln. Es ist ebenso möglich, dass die festen Stücke schwimmen, weil sie nicht vom geschmolzenen Eisen benetzt werden und so ihr Volumen durch capillare Abstossung vermehrt wird. Gewisse Wasserkäfer laufen in Folge einer solchen Wirkung über das Wasser, ohne unterzusinken. Mit Wismuth indessen kann man leicht durch seine Ausdehnung beim Erstarren eiserne Flaschen zersprengen.

suchen, Ihnen eine möglichst befriedigende Lösung des Problems vorzulegen.

Denken Sie sich eine Anzahl gewichtsloser Magnete, die aber ihre polaren Kräfte beibehalten haben. Hätten wir eine bewegliche Flüssigkeit von dem specifischen Gewicht des Stahles, so könnten wir, wenn wir die Magnete darin schwimmen liessen, den obigen Fall verwirklichen; denn in einer solchen Flüssigkeit würden die Magnete schweben. Nach dem Newton'schen Gravitationsgesetz zieht aber ein materielles Theilchen ein anderes mit einer Kraft an, die sich umgekehrt mit dem Quadrat der Entfernung ändert. In Folge der Gravitation werden demnach die Magnete, wenn sie vollkommen frei beweglich wären, sich langsam einander nähern. Aber ausser der nichtpolaren Kraft der Gravitation, die aller Materie zukommt, besitzen die Magnete noch die polare Kraft des Magnetismus. Anfangs indessen kommen die polaren Kräfte nicht merklich ins Spiel. In diesem Zustand gleichen die Magnete unseren Wassermolekülen bei der Temperatur von etwa 10° . Endlich kommen die Magnete einander so nahe, dass ihre Pole in Wirksamkeit treten können. Von diesem Augenblick an hört die Wirkung auf, eine blosse Massenattraction zu sein. Eine Anziehung gewisser Punkte und eine Abstossung anderer kommt ins Spiel, und es ist klar, dass die Anordnung der Magnete in Folge dieser Kräfte eine derartige sein kann, dass sie einen grössern Raum erfordert. Dies, nehme ich an, ist der Fall mit unseren Wassermolekülen. Wie die Magnete nähern sie sich einander eine Zeit lang als Ganzes. Schon bevor sie die Temperatur von 4° erreichen, beginnen zweifellos die polaren Kräfte zu wirken, es wird aber ihre Wirkung bei dieser Temperatur gerade durch die Contraction in Folge der Kälte compensirt. Bei niederen Temperaturen über-

wiegen die polaren Kräfte, so weit sie Aenderungen des Volumens bedingen. Aber sie kämpfen mit der Contraction bis zum Gefrierpunkt. Dann schliessen sich die Moleküle zu festen Krystallen aneinander; eine beträchtliche Volumenvermehrung ist die unmittelbare Consequenz.

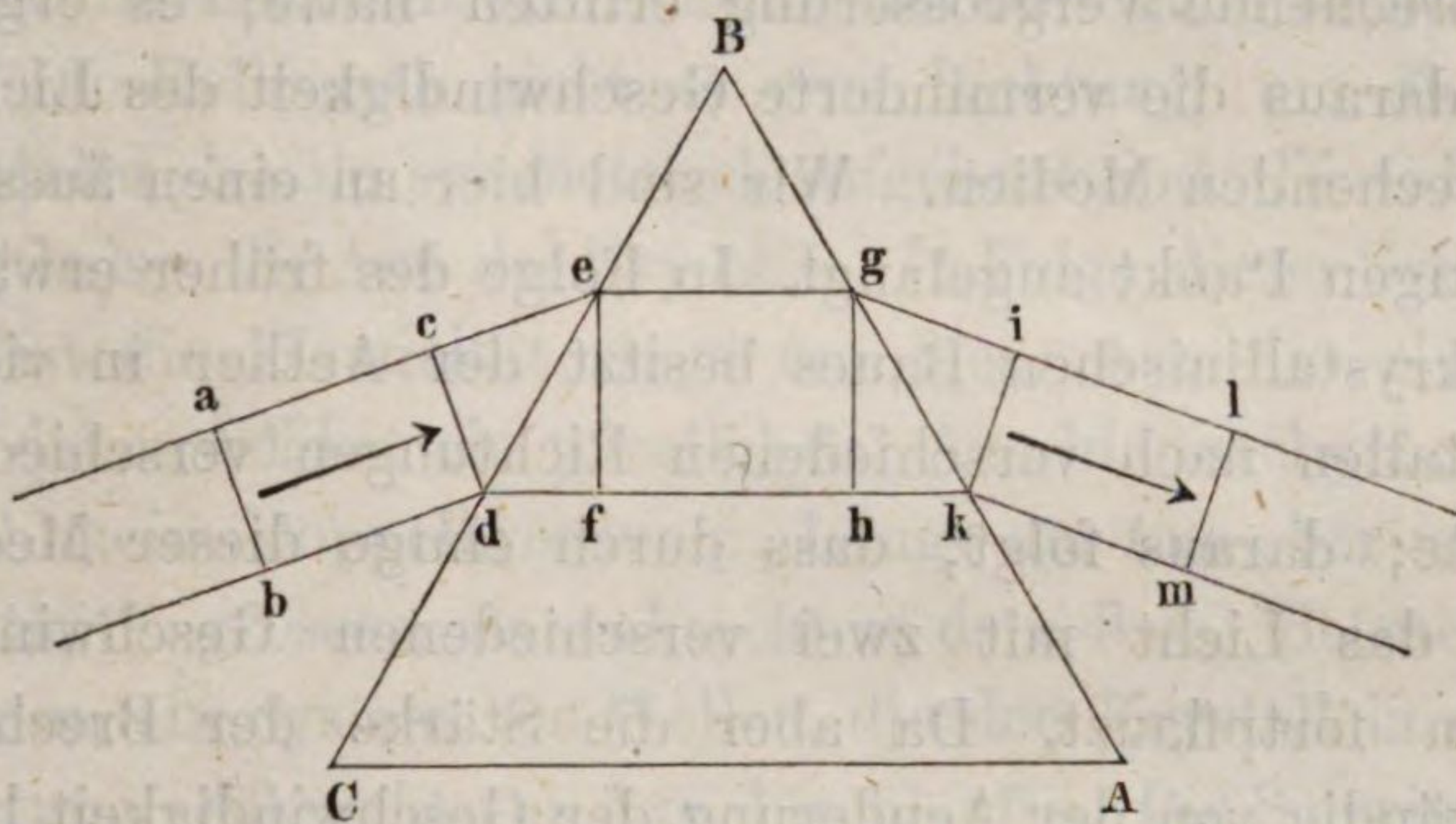
Wir müssen nun den Einfluss der Krystallisation auf die optischen Erscheinungen untersuchen. Nach der Undulationstheorie ist die Geschwindigkeit des Lichtes im Wasser und Glas kleiner, als in der Luft. Bewegt sich ein kleiner Theil einer Welle, die von einem so weit entfernten Lichtpunkt ausgeht, dass wir diesen Theil der Welle als eben ansehen können, vertical nach unten und trifft auf eine horizontale Wasser- oder Glasfläche, so tritt sie in dieses Medium ohne Richtungsänderung ein. Da aber die Geschwindigkeit im Glas und Wasser geringer ist, als in der Luft, so wird die Welle beim Eintritt in das dichtere Medium eine Verzögerung erleiden.

Nehmen wir aber an, dass die Welle, ehe sie das Glas trifft, gegen seine Oberfläche geneigt ist. Es wird dann das Ende der Welle, das das Medium zuerst trifft, auch zuerst verzögert werden, während dies mit den übrigen Theilen erst später der Fall ist. Man sieht nun leicht, dass diese Verzögerung des einen Endes der Welle eine Schwenkung derselben hervorbringen muss, so dass, wenn sie ganz in das Glas eingetreten ist, ihre Richtung gegen die ursprüngliche geneigt ist. Nach der Undulationstheorie ist dies der Grund der Lichtbrechung.

Mit Zuhülfenahme der obigen Betrachtung wollen wir den Weg eines monochromatischen Lichtstrahles durch ein Glasprisma verfolgen. Die Geschwindigkeiten des Lichtes in Luft und Wasser verhalten sich wie 3:2. ABC (Fig. 27) sei der Querschnitt unseres Prismas, und ab der Querschnitt einer ebenen Welle, die sich in der Richtung des

Pfeiles dem Prisma nähert. Wenn sie cd erreicht, so tritt das eine Ende der Welle gerade in das Glas ein, und während sich der in der Luft befindliche Theil der Welle um ce fortbewegt, durchläuft die Welle im Glase nur zwei Drittel dieses Weges, nämlich df . Die Linie ef bezeichnet uns jetzt die Wellenfront. Während sie sich ganz im Glas befindet, gelangt sie bis nach gh , wo das Ende g der Welle gerade in die Luft austritt. Während nun

Fig. 27.



das Ende h der Welle von h bis k gelangt, erreicht das sich in der Luft schneller bewegende Ende g den Punkt i . Die Welle hat demnach wiederum ihre Front geändert, so dass sie nach dem Austritt aus dem Prisma sich gegen lm hin in der Richtung des Pfeiles fortbewegt. Es ist so von der Brechung des Lichtes vollständig Rechenschaft gegeben, und sie ist überdies durch einen Versuch erwiesen worden, der zeigt, dass das Verhältniss der Geschwindigkeiten des Lichtes in Glas und Luft das oben erwähnte ist. Offenbar würde, wenn die Aenderung der Geschwindigkeit beim Uebergang aus Luft in Glas grösser wäre, die Brechung auch eine stärkere sein.

Die beiden Grössen, von denen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit, sowohl des Lichtes, wie des Schalles, ab-

hängt, sind die Elasticität und die Dichte; mit Zunahme der ersteren nimmt sie nämlich zu, mit Zunahme der letzteren ab. Die ungeheure Geschwindigkeit des Lichtes im Weltenraum rührt von der äusserst geringen Dichtigkeit und der ungeheuren Elasticität des Aethers her.

Der Aether umgiebt die Atome aller Körper, doch ist seine Anordnung nicht unabhängig von denselben. In der ponderablen Materie wirkt er, wie wenn seine Dichte vergrössert wäre, ohne dass jedoch seine Elasticität eine entsprechende Vergrösserung erlitten hätte; es ergiebt sich daraus die verminderte Geschwindigkeit des Lichtes in brechenden Medien. Wir sind hier an einen äusserst wichtigen Punkt angelangt. In Folge des früher erwähnten krystallinischen Baues besitzt der Aether in vielen Krystallen nach verschiedenen Richtungen verschiedene Dichte; daraus folgt, dass durch einige dieser Medien sich das Licht mit zwei verschiedenen Geschwindigkeiten fortpflanzt. Da aber die Stärke der Brechung vollständig von der Aenderung der Geschwindigkeit beim Eintritt in das brechende Medium abhängt und mit der Grösse der Aenderung zunimmt, so haben wir in vielen Krystallen zwei verschiedene Brechungen. Durch solche Krystalle wird ein Lichtstrahl in zwei getheilt. Diese Erscheinung nennt man Doppelbrechung.

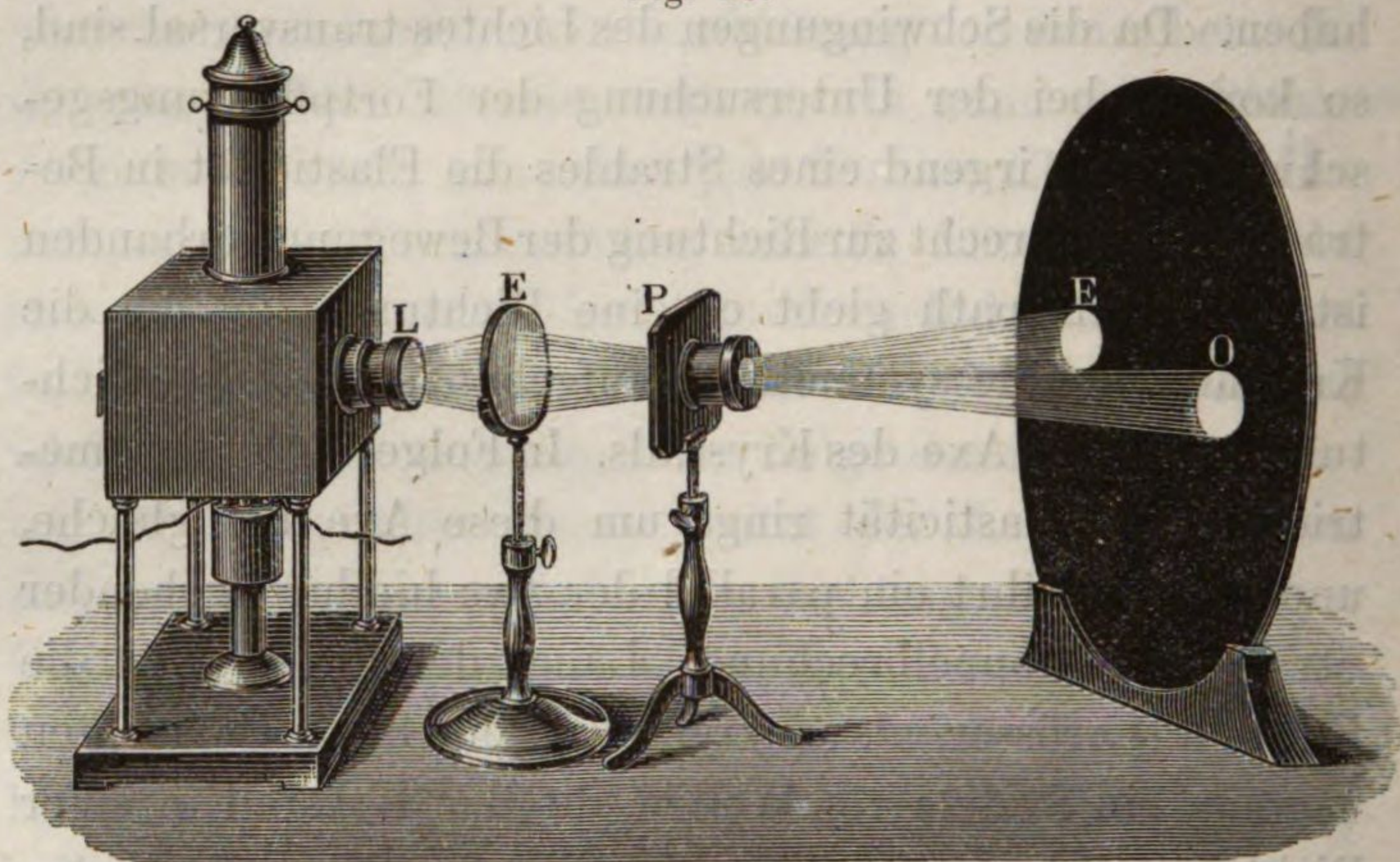
Bei dem gewöhnlichen Wasser z. B. liegt kein Grund vor, warum die Moleküle die vollständige Homogeneität des Aethers stören sollten; wenn aber das Wasser zu Eis krystallisirt, so gestaltet sich die Sache anders. In einer Eisplatte ist die Elasticität des Aethers senkrecht zur Gefrierungsfläche eine andere als parallel zu derselben; Eis ist demnach ein doppelbrechender Körper. Eine besonders starke Doppelbrechung zeigt Kalkspath oder krystallisirter kohlensaurer Kalk. Die Verschiedenheit der

Dichte des Aethers nach zwei verschiedenen Richtungen ist bei diesem Krystall besonders gross; die Theilung des Strahles in zwei Hälften lässt sich daher auch besonders gut beobachten.

Ich will diesen Gegenstand nicht eher verlassen, als bis Sie sich eine vollständig klare Vorstellung darüber gebildet haben. Da die Schwingungen des Lichtes transversal sind, so kommt bei der Untersuchung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit irgend eines Strahles die Elasticität in Betracht, die senkrecht zur Richtung der Bewegung vorhanden ist. Im Kalkspath giebt es eine Richtung, um die die Krystallmoleküle symmetrisch aufgebaut sind. Diese Richtung heisst die Axe des Krystalls. In Folge dieser Symmetrie ist die Elasticität rings um diese Axe die gleiche, und daher erfährt ein parallel der Axe hindurchgehender Strahl keine Doppelbrechung. Längs der Axe aber ist die Elasticität grösser, als senkrecht zu derselben. Betrachten wir nun ein System von Wellen, die den Krystall in einer Richtung senkrecht zur Axe durchlaufen. Die Schwingungen in diesen Wellen können nach zwei Richtungen stattfinden: Der Aether kann parallel und senkrecht zur Axe schwingen. Es geschieht beides und es theilen sich die Wellen in zwei Gruppen, die sich mit verschiedenen Geschwindigkeiten fortpflanzen. Hieraus ergibt sich aber nothwendig eine Doppelbrechung. Mittelst eines passend zerschnittenen Kalkspathes lässt sich leicht die Doppelbrechung zeigen. Sie sehen jetzt eine Projection unserer Kohlenspitzen vor sich. Lassen wir den Strahl, der dies Bild erzeugt, durch den Kalkspath gehen, so theilt sich das Bild sogleich in zwei. Projiciren wir vermittelst der Linse *E* (Fig. 28, a. f. S.) ein Bild der Oeffnung *L*, durch die das Licht aus der elektrischen Lampe austritt und schalten wir den Kalkspath *P* ein, so erscheinen

sogleich zwei helle Kreise, *E* und *O*, statt eines auf dem Schirme. Die beiden Strahlen, in die der Kalkspath den einfachen auffallenden theilt, sind auf das Genaueste untersucht worden. Sie verhalten sich nicht gleich. Der eine von ihnen gehorcht dem gewöhnlichen von Snell

Fig. 28.



entdeckten Brechungsgesetz und heisst deshalb auch der ordentliche (ordinäre) Strahl; sein Brechungsindex ist 1.654. Der andere Strahl gehorcht diesem Gesetz nicht. So ist sein Brechungsexponent z. B. nicht constant, sondern ändert sich von einem Maximum 1.654 bis zu einem Minimum 1.483; auch liegen der einfallende und der gebrochene Strahl nicht in einer Ebene. Er heisst deshalb auch der ausserordentliche (extraordinäre) Strahl. Im Kalkspath ist, wie eben erwähnt, der ordentliche Strahl der stärker gebrochene. Eine Folgerung hieraus ist der Beachtung werth. Giessen Sie Wasser und Schwefelkohlenstoff in zwei Gefässe von derselben Tiefe, so wird Ihnen das, welches die stärker brechende Flüssigkeit enthält, weniger tief erscheinen. Legen Sie einen Kalkspath

auf einen schwarzen Punkt, so sehen Sie zwei Punkte, von denen der eine dem Auge näher erscheint, als der andere. Der nächste Punkt rührt von dem stärker gebrochenen Strahl her, ebenso wie der am meisten gehobene Gefässboden der am stärksten brechenden Flüssigkeit entspricht. Drehen Sie den Kalkspath, so dreht sich das extraordinäre Bild des Punktes um das ordinäre, das eine unveränderte Lage beibehält. Ebenso verhalten sich unsere beiden Kreise auf dem Schirm.

Die Doppelbrechung des Kalkspathes behandelte zuerst Erasmus Bartholinus in einem 1669 publicirten Werk. Der berühmte Huyghens suchte dies Phänomen aus der Wellentheorie zu erklären, was ihm auch gelang. Er machte ferner höchst wichtige Beobachtungen über den verschiedenen Charakter der beiden durch den Kalkspath gegangenen Strahlen, doch gab er mit grosser Bescheidenheit zu, dass er das Problem nicht gelöst habe und dass er seine Lösung späteren Zeiten überlassen müsse. Newton kam beim Nachdenken über die Huyghens'schen Beobachtungen zu dem Schluss, dass jeder der beiden durch den Kalkspath gegangenen Strahlen zwei Seiten zeige; und von der Analogie dieser zwei Seiten mit den zwei Enden eines Magnetes, durch die seine Polarität gegeben ist, rührt es her, dass die beiden Strahlen später als „polarisirte“ beschrieben wurden.

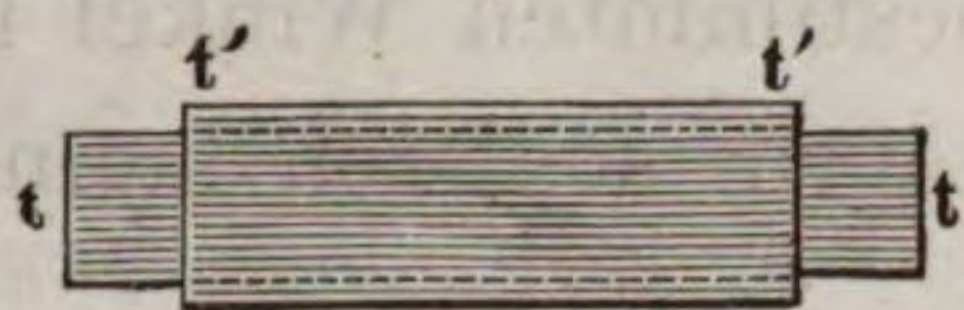
Wir untersuchen die Polarisation des Lichtes am leichtesten und besten mittelst eines Turmalines. Zuvor müssen wir uns aber eine klare Vorstellung von einem gewöhnlichen Lichtstrahl bilden. Wir haben bereits gesehen, dass die Schwingungen der Aethertheilchen senkrecht zur Richtung der Fortpflanzung erfolgen. Im gewöhnlichen Licht denken wir uns die Aethertheilchen

nach allen Richtungen oder, wie man auch sagt, allen Azimuthen, schwingend.

Wenn nun ein Lichtstrahl auf eine parallel der Krystallaxe geschnittene Turmalinplatte fällt, so theilt er sich in zwei; die Schwingungen in dem einen dieser Strahlen finden senkrecht zu der Krystallaxe, in dem anderen parallel zu derselben statt. Die Gruppierung der Moleküle und des mit den Molekülen verbundenen Aethers bewirkt, dass alle in den Krystall eintretenden Schwingungen sich nach diesen zwei Richtungen zerlegen. Der eine dieser beiden Strahlen, und zwar der, in dem die Schwingungen senkrecht zu der Axe stattfinden, wird sehr stark vom Turmalin absorbirt. Für solche Schwingungen sind manche Exemplare in hohem Grade undurchlässig, so dass, wenn das Licht durch eine nur dünne Turmalinplatte gegangen ist, alle Schwingungen des austretenden Lichtes in einer einzigen Ebene stattfinden. Wir nennen dann den Strahl geradlinig polarisirt. Eine kurze Ueberlegung zeigt, wenn die obige Behauptung richtig ist, dass, wenn wir eine zweite Turmalinplatte, deren Axe parallel der Axe der ersteren ist, hinter der ersten anbringen, das Licht durch beide hindurch gehen wird; dass aber, wenn die Axen gekreuzt sind, das von der einen Platte hindurchgelassene Licht von der andern abgefangen wird, so dass eine vollständige Auslöschung des Lichtes eintritt. Wir wollen diesen Schluss durch einen Versuch bestätigen. Sie sehen jetzt das Bild der Turmalinplatte tt (Fig. 29) vor sich. Ich lege vor dieselbe ihr parallel eine zweite $t't'$. Es wird nur das Grün des Krystalles etwas dunkler, was mit unserem Schluss übereinstimmt. Vermittelst einer Schraube ohne Ende drehe ich den einen Krystall allmählich herum, und Sie sehen, dass, so lange die Platten gegen einander

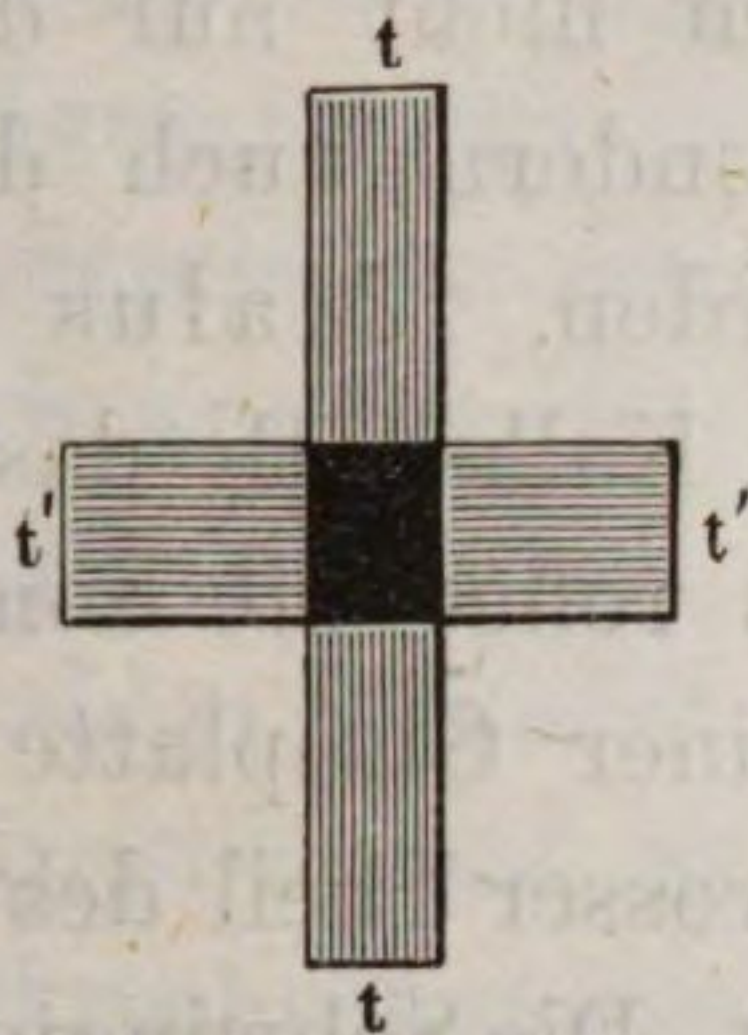
geneigt sind, etwas Licht hindurchgeht; dass aber, sobald sie einen rechten Winkel mit einander bilden, der

Fig. 29.



beiden gemeinsame Raum dunkel ist (vgl. Fig. 30). Hiermit ist also unsere Schlussfolgerung, zu der wir vor dem Experiment gekommen sind, vollkommen bestätigt.

Fig. 30.



Lassen Sie uns jetzt zu einer einzigen Platte zurückkehren. Ich ersuche Sie, dabei Ihre Aufmerksamkeit auf das grüne, vom Turmalin durchgelassene Licht zu richten. Wir müssen hier die Zweiseitigkeit des grünen Lichtes im Gegensatz zu der Allseitigkeit des gewöhnlichen Lichtes zeigen. Das Licht in der Umgebung des grünen Bildes, das aus gewöhnlichem Licht besteht, wird von einem ebenen Glasspiegel in allen Richtungen reflectirt, das grüne Licht dagegen nicht. Das Bild des Turmalins ist jetzt horizontal; wird es aufwärts reflectirt, so bleibt es grün; wird es dagegen seitwärts reflectirt, so erscheint es schwarz; da das grüne Licht nicht in dieser Richtung reflectirt werden kann. Stellen wir die Turmalinplatte vertical, so erscheint das nach oben reflectirte Bild schwarz, das seitwärts reflectirte dagegen grün. Es ist dies ein Resultat von der höchsten Bedeutung. Wären die Schwingungen beim Licht, wie beim Schall, longitudinal, so liesse sich keine derartige Erscheinung beobachten; und eben diese Erscheinung zwingt uns, die Schwingungen als transversal zu betrachten. Machen Sie sich das Verhältniss ganz klar. In dem einen Fall stossen die Lichtwellen mit ihren Kämmen gerade auf die Ebene des Spiegels und dringen hindurch, das grüne Licht wird daher nicht zu-

rückgeworfen, in dem andern Falle streifen die Seiten der Wellen die Ebene des Spiegels, das grüne Licht wird zurückgeworfen. Damit die Auslöschung eine vollkommene ist, muss das Licht unter einem bestimmten Winkel reflectirt werden. Diesen Winkel werden wir sogleich kennen lernen. —

Die Eigenschaft des Lichtes, sich nach zwei Seiten verschieden zu verhalten, kann ihm nicht nur durch den Durchgang durch Krystalle, sondern auch durch gewöhnliche Reflexion ertheilt werden. Malus entdeckte dies 1808, als er durch einen Kalkspath das von den Fenstern des Luxemburgpalastes reflectirte Sonnenlicht betrachtete. Ich fange mit einer Glasplatte den Lichtstrahl unserer Lampe auf, ein grosser Theil des vom Glase reflectirten Lichtes ist polarisirt. Die Schwingungen verlaufen in dem reflectirten Strahle zum grössten Theil parallel der Glasoberfläche; und wenn das Glas so gehalten wird, dass der Strahl einen Winkel von 58° mit dem Loth auf der Glasplatte bildet, so ist der ganze reflectirte Strahl polarisirt. Bei diesem Winkel wurde bei unserm frühern Versuch das Bild des Turmalins vollständig ausgelöscht. Dieser Winkel heisst der Polarisationswinkel.

Sir David Brewster hat bewiesen, dass der Polarisationswinkel eines Körpers derjenige Winkel ist, bei dem der gebrochene und der reflectirte Strahl einen rechten Winkel mit einander bilden¹⁾. Der Polarisationswinkel wächst mit dem Brechungsverhältniss. Er ist für Wasser $52\frac{1}{2}^\circ$, für Glas, wie bereits erwähnt, 58° , während er für Diamant 68° beträgt.

¹⁾ Dies schöne Gesetz heisst: Das Brechungsverhältniss eines Körpers ist gleich der Tangente des Polarisationswinkels. Vermittelst dieses Gesetzes und eines Apparates, der dem auf S. 17

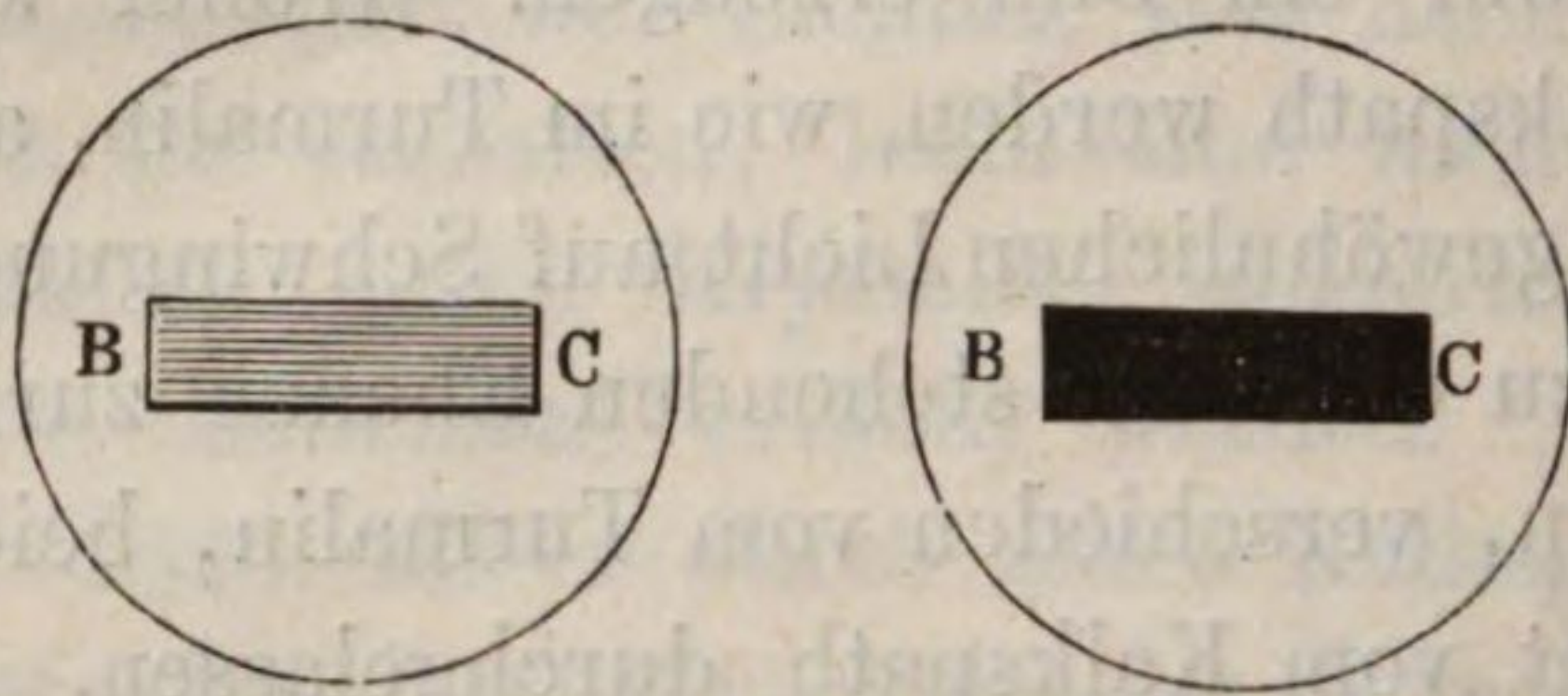
Wir wollen jetzt den Versuch von Malus anstellen. Der Lichtstrahl aus der Lampe wird von dieser Glasplatte aufgefangen und durch den Kalkspath geworfen. Statt zweier Bilder sehen Sie nur ein Bild. Es kann danach das Licht, wenn es, wie im vorliegenden Fall, polarisirt ist, nur nach einer Richtung durch den Kalkspath gehen und also auch nur ein Bild erzeugen. Woher kommt das? In dem Kalkspath werden, wie im Turmalin, alle Schwingungen im gewöhnlichen Licht auf Schwingungen in zwei senkrecht zu einander stehenden Ebenen zurückgeführt; doch werden, verschieden vom Turmalin, beide Strahlen gleich leicht vom Kalkspath durchgelassen. Die beiden Strahlen demnach, die aus dem Kalkspath austreten, sind polarisirt, und zwar stehen ihre Schwingungsrichtungen senkrecht aufeinander. Wenn demnach das Licht in Folge einer Reflexion polarisirt ist, so geht nur der Strahl durch den Kalkspath, dessen Schwingungsrichtung der im reflectirten Strahl entspricht. Es kann unter diesen Verhältnissen also nur ein Bild erscheinen.

Sie sehen jetzt, wie die Gesetzmässigkeit in unseren Versuchen nur ein veränderter Ausdruck der Gesetzmässigkeit in der Natur ist. Auf dem Schirm vor Ihnen sehen Sie zwei helle Kreise, die durch die Doppelbrechung des Kalkspathes erzeugt sind. Es sind, wie Sie wissen, die Bilder der Oeffnung, durch die das Licht aus der Lampe austritt. Bringen wir den Turmalin vor die Oeffnung, so erhalten wir ebenfalls zwei Bilder des Krystalles; aber lassen Sie uns über-

ähnlich ist, lässt sich leicht das Brechungsverhältniss einer Flüssigkeit bestimmen. Da der gebrochene und der reflectirte Strahl sichtbar ist, so kann man sie leicht dazu bringen, dass sie einen rechten Winkel einschliessen; man kann so den Polarisationswinkel mit der grössten Genauigkeit finden. Man braucht dann nur seine Tangente zu nehmen, um das Brechungsverhältniss zu erhalten.

legen, was dieser Versuch ergeben wird. Das aus dem Turmalin austretende Licht ist polarisirt. Stellen wir die Axe des Krystalls horizontal, so sind auch die Schwingungen des von ihm durchgelassenen Lichtes horizontal. Nun besitzt der Kalkspath, wie bereits erwähnt, zwei

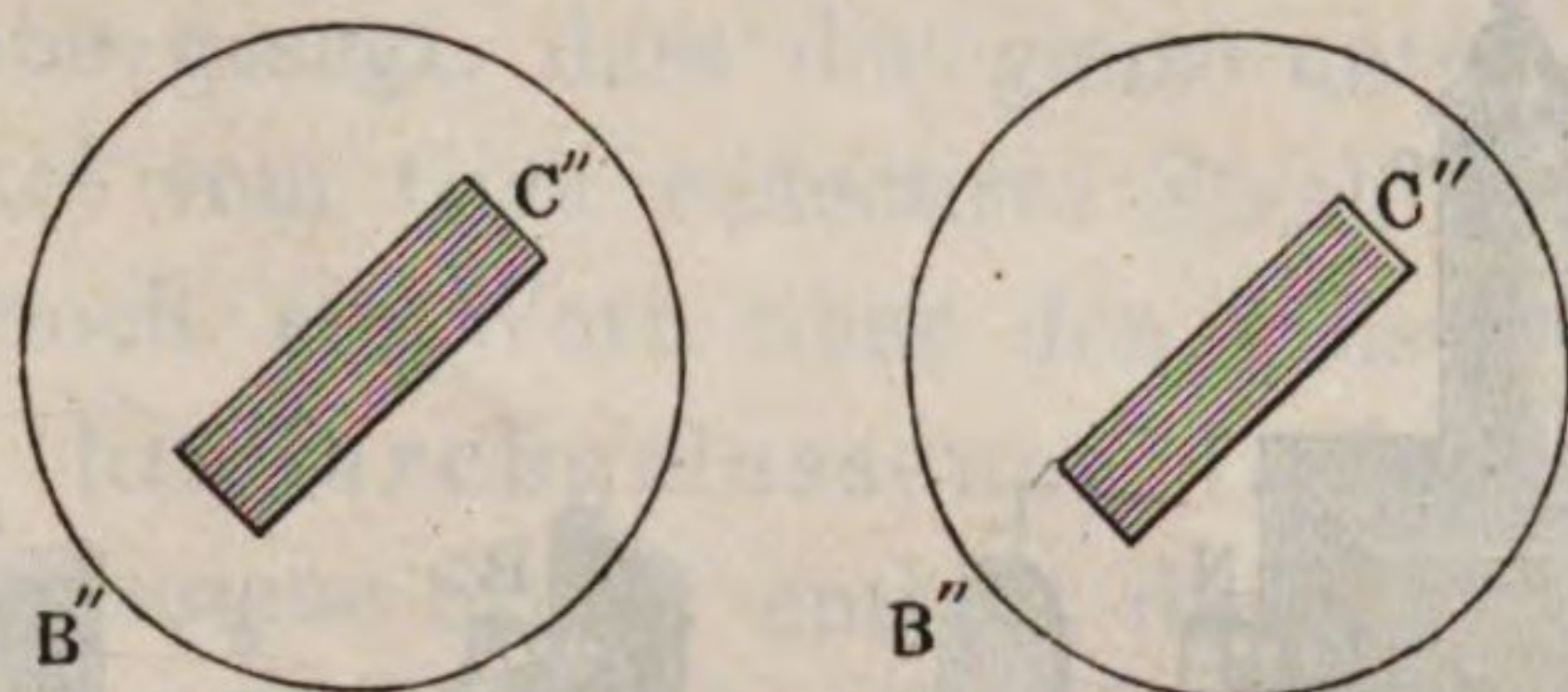
Fig. 31.



Schwingungsrichtungen, von denen die eine augenblicklich vertical, die andere horizontal ist. Was folgt daraus? Dass das grüne Licht in der letztern Richtung, die parallel der Axe des Turmalins ist, hindurch gelassen werden wird, und nicht parallel der erstern, die senkrecht auf dieser Axe steht. Hieraus können wir schliessen, dass das eine Bild des Turmalins die gewöhnliche grüne Farbe des Krystalles zeigen wird, während das andere Bild schwarz ist. Unsere Schlussfolgerung wird durch das Resultat des Versuchs vollständig bestätigt (Fig. 31). Lassen Sie uns unsere Prüfung weiter führen. Vermittelt einer Schraube ohne Ende kann der Krystall um 90 Grad gedreht werden. Das schwarze Bild wird, während ich drehe, allmählich heller und das helle allmählich dunkler; nach einer Drehung um 45 Grad haben beide Bilder dieselbe Helligkeit (Fig. 32); wenn aber nach einer Drehung um 90 Grad die Axe des Krystalls vertical steht, so ist das helle Bild an die Stelle des dunklen getreten und umgekehrt, wie es uns auch eine der frühern analoge Betrachtung gelehrt haben würde (Fig. 33).

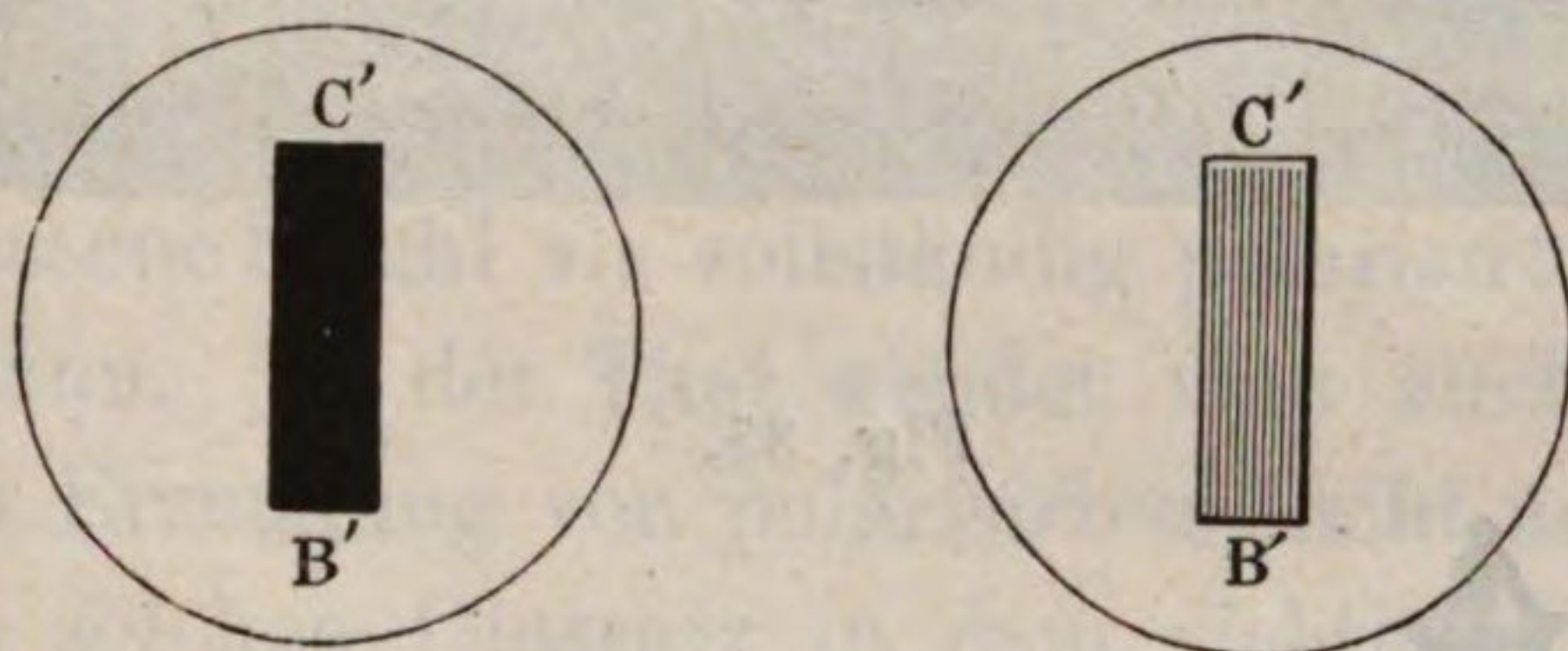
Sind uns die beiden durch den Kalkspath gehenden Strahlen gegeben, so können wir offenbar jeden Augen-

Fig. 32.



blick vermittelt einer Turmalinplatte die Schwingungsrichtungen der Aethertheilchen in diesen beiden Strahlen bestimmen. Der doppelbrechende Kalkspath kann dabei

Fig. 33.



in jede beliebige Lage gebracht werden. Die Untersuchung mit dem Turmalin zeigt Ihnen sogleich die Richtung, die einem schwarzen, und die, die einem hellen Bilde entspricht, und daraus können Sie unmittelbar auf die Schwingungsrichtung schliessen.

Lassen Sie uns unsere Schlussfolgerung noch weiter fortführen. Sind die beiden Strahlen aus dem Kalkspath in dieser Art polarisirt, so ist es klar, dass, wenn sie von einer Glasplatte in dem Polarisationswinkel aufgefangen werden, der eine von ihnen reflectirt wird, der andere nicht. Es folgt dies unmittelbar aus unseren früheren Versuchen; jedoch werden unsere Schlussfolgerungen auch direct durch Versuche bestätigt. Die Figuren 34 und 35

stellen diese Verhältnisse dar. *B* ist der doppelbrechende Kalkspath, der das einfallende Licht in die beiden Strah-

Fig. 34.

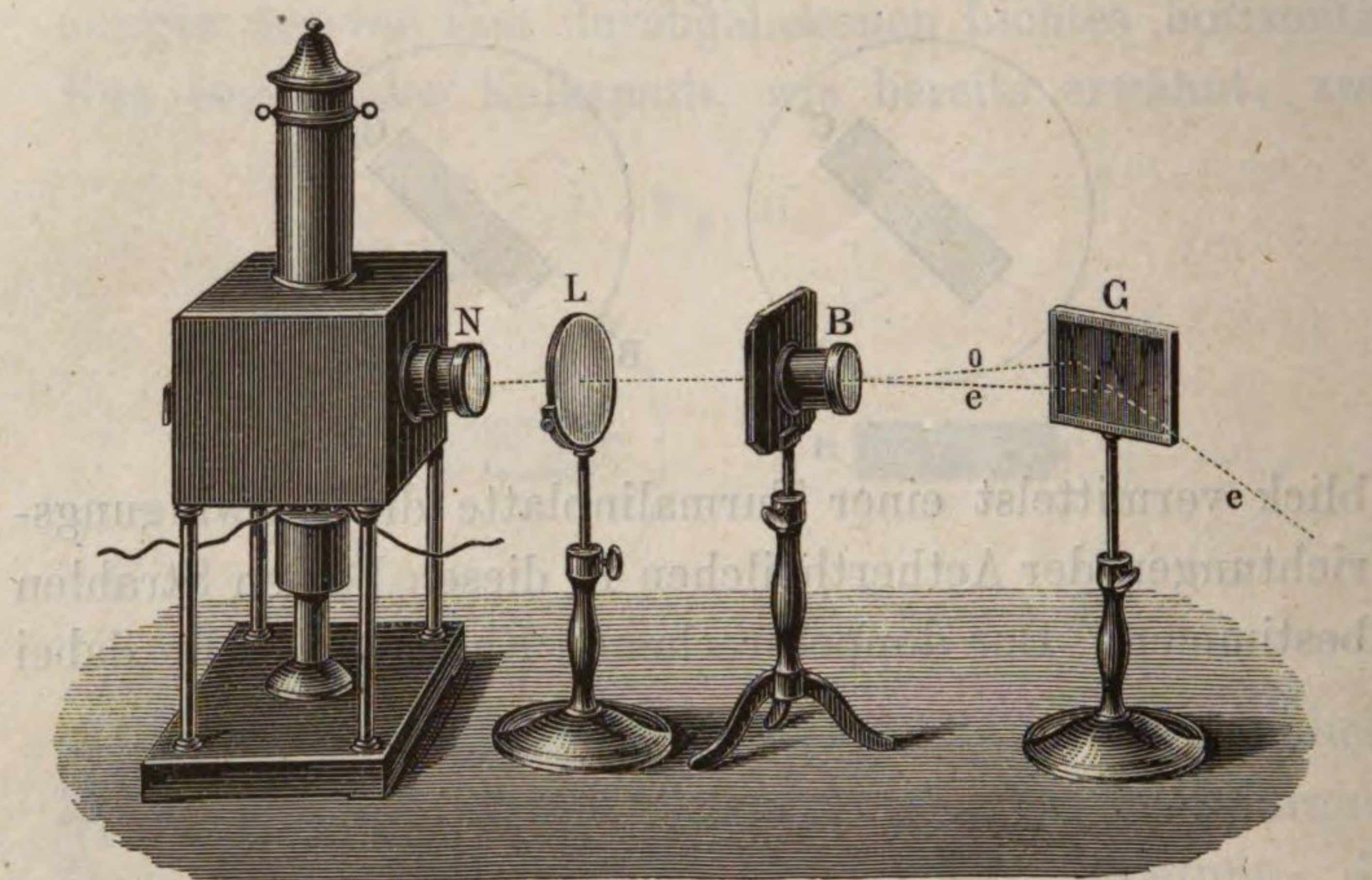
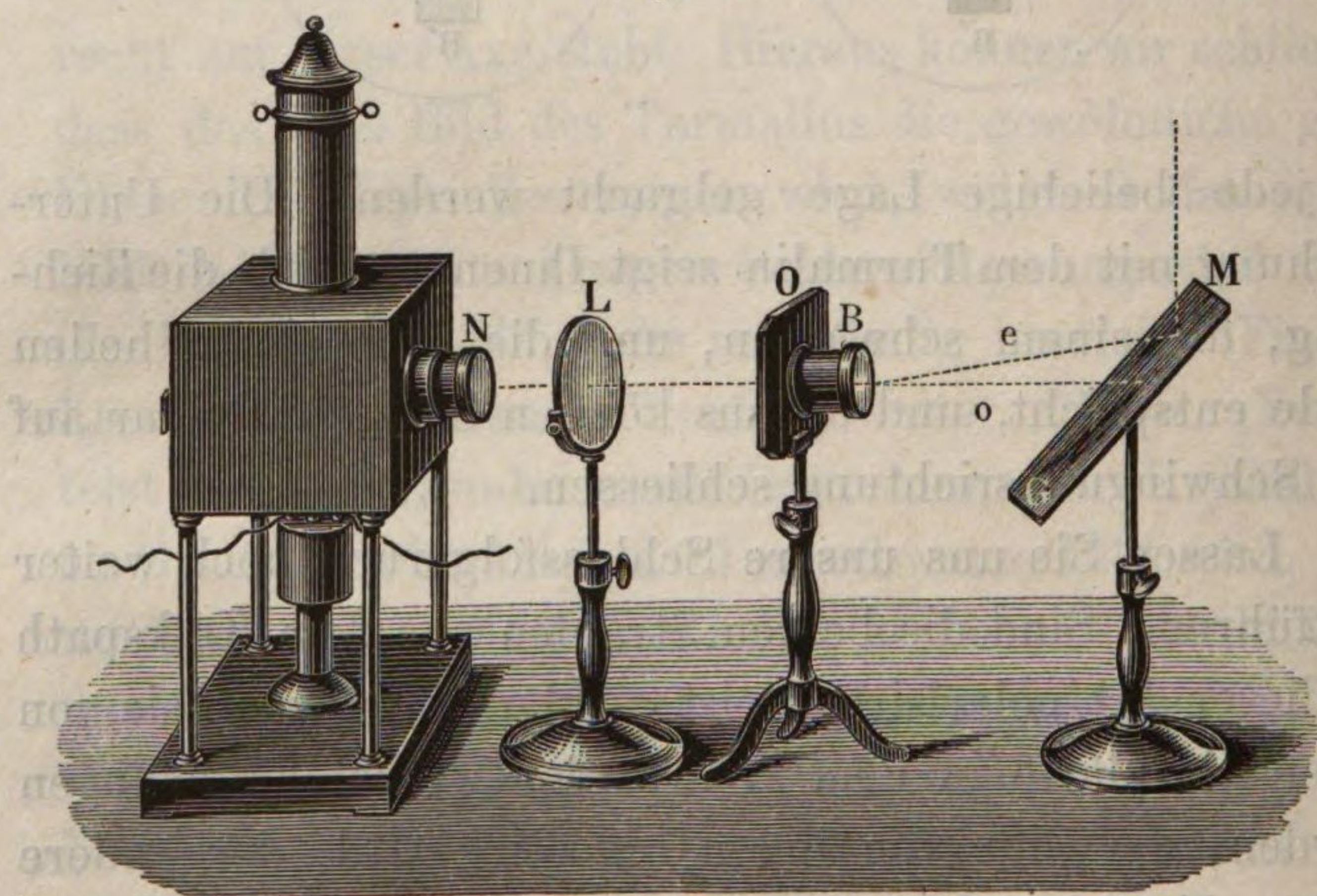


Fig. 35.



len *o* und *e* theilt. *G* ist der Spiegel. In Figur 34 ist der Strahl *o* seitlich reflectirt. Findet die Reflexion auf-

wärts statt, so wird der andere Strahl *e* reflectirt, wie Fig. 35 zeigt.

Ich habe gesagt, dass der ganze unter dem Polarisationswinkel vom Glas reflectirte Strahl polarisirt ist; ich muss noch ein Wort über den grössern Theil des vom Glase hindurchgelassenen Lichtes hinzufügen. Der durchgelassene Strahl enthält dieselbe Menge polarisirten Lichtes, wie der reflectirte. Doch ist diese Menge nur ein Theil des ganzen hindurchgelassenen Lichtes. Nehmen wir zwei Glasplatten statt einer, so vermehrt sich die Menge des polarisirten Lichtes im durchgelassenen Strahl, und nehmen wir eine hinlängliche Anzahl auf einander geschichteter Glasplatten (einen Glassatz), so vermehren wir die Menge des polarisirten Lichtes so weit, dass der durchgelassene Strahl als vollständig polarisirt betrachtet werden kann. In der That wendet man auch Glassätze häufig zur Erzeugung von polarisirtem Licht an. Bringen wir einen solchen Glassatz in dem richtigen Winkel in den Weg der beiden Lichtstrahlen, die aus einem Kalkspath austreten, so wird der Strahl hindurchgelassen, der bei dem letzten Versuch nicht reflectirt wurde. Die Schwingungsebene des hindurchgelassenen Lichtes steht indess senkrecht auf der des reflectirten.

Nur noch ein Wort. Wenn die Turmaline gekreuzt sind, so ist der Raum, in dem sie sich kreuzen, dunkel. Wir haben aber gesehen, dass schon die geringste Neigung der Krystalle hinreicht, um Licht hindurch zu lassen. Wir wollen nun zwischen zwei gekreuzte Turmaline eine dritte Platte bringen, deren Axe aber gegen die der ersten geneigt ist. Ein Theil des von der ersten Platte hindurchgelassenen Lichtes geht durch die mittlere. Ist es aber durch diese gegangen, so ist die Schwingungsebene nicht mehr dieselbe, sie steht nicht mehr senkrecht

auf der Axe des dritten Krystalles. Das Licht geht demnach durch den Krystall. Hieraus schliessen wir, dass durch das Zwischenschieben der dritten Platte die durch die zwei ersten gekreuzten Platten erzeugte Dunkelheit zum Theil aufgehoben wird. Ich habe keine dritte Turmalinplatte; aber der Glimmer verhält sich ebenso. Ich schiebe zwischen die gekreuzten Turmaline ein Blättchen dieses Krystalles. Sie sehen, wie die Kante des Blättchens sich allmählich verschiebt und wie dem entsprechend die Dunkelheit dem Licht Platz macht. Die Dunkelheit erscheint wie etwas Materielles weggefegt. Diese Wirkung ist, wenn auch natürlich, so doch nur uneigentlich Depolarisation genannt worden. Ihre eigentliche Bedeutung wird in unserer nächsten Vorlesung auseinandergesetzt werden.

Vierte Vorlesung.

Farbenerscheinungen durch Krystalle in polarisirtem Licht. —

Das Nicol'sche Prisma. — Polarisirendes und analysirendes Prisma. — Wirkung dicker und dünner Gypsplatten. — Farben, abhängig von der Dicke. — Zerlegung des polarisirten Strahles in zwei andere durch den Gyps. — Der eine mehr verzögert, als der andere. — Wiedervereinigung der beiden Wellensysteme durch das analysirende Prisma. — Die Interferenz auf diese Art ermöglicht. — Dem entsprechende Erzeugung von Farben. — Wirkung von mechanisch gedehnten oder gepressten Körpern. — Wirkung von Tonschwingungen. — Wirkung von durch Wärme gedehntem oder gepresstem Glas. — Circularpolarisation. — Farbenerscheinungen durch Quarz erzeugt. — Die Einwirkung des Magnetismus auf das Licht. — Ringe um die Axen der Krystalle. — Zweiaxige und einaxige Krystalle. — Uebersicht der Undulationstheorie. — Die Farbe und Polarisation des Himmelslichtes. — Erzeugung von künstlichen Himmeln.

Wir stehen jetzt an der Schwelle eines neuen und glänzenden optischen Gebietes. Wir sind so weit, wie es für jetzt vielleicht überhaupt möglich ist, in die Geheimnisse der Krystallisation eingedrungen. Indem wir uns mit den Erscheinungen beschäftigten, die sie hervorriefen, haben wir den Begriff des linear-polarisirten Lichtes beherrschen gelernt. Doch werde ich hier an einen Beweisgrund erinnert, den die Protestanten bisweilen gegen

die Katholiken aufstellen. „Ihr beweist,“ sagen sie, „die Glaubwürdigkeit der Heiligen Schrift durch die Autorität der Kirche, und leitet dann wieder die Autorität der Kirche aus der Heiligen Schrift ab; das ist ein Kreisschluss.“ Ich kann mich scheinbar einem ähnlichen Vorwurf aussetzen, wenn ich sage, dass sich der Begriff des polarisirten Lichtes auf die Resultate der Beobachtungen gründet und dann gleich darauf fortfahre, die Resultate der Beobachtungen von dem Begriff des polarisirten Lichtes abzuleiten.

Dieser Einwurf würde sicher gültig sein, wenn die theoretische Vorstellung sich nur über die Thatsachen erstreckte, aus denen sie entsprang. Einige Theorien unterliegen freilich dieser Kritik; dann fehlen ihnen aber auch die charakteristischen Merkmale einer wahren Theorie. Das wissenschaftliche Verständniss gleicht einer Lampe, die nicht eher brennt und leuchtet, als bis sie mittelst des Dochtes der Beobachtung oder des Versuches angezündet worden ist. Das Licht aber, das durch das Anzünden ausstrahlt, kann in Folge der dem Geiste eigenen Kraft um das Millionenfache das des Dochtes übertreffen, von dem es ausging. Man kann in der That sagen, dass sie in einem unmessbaren Verhältniss zu einander stehen; einige wenige unscheinbare und einzelstehende Thatsachen genügen, durch ihre Wirkung auf den Geist Principien von unberechenbarer Anwendung und Ausdehnung zu entwickeln.

Wir wollen heute Abend die Farbenerscheinungen zeigen und untersuchen, die durch die Wirkung von Krystallen oder doppelbrechenden Körpern im Allgemeinen auf polarisirtes Licht erzeugt werden, und die Undulationstheorie zu ihrer Erklärung anwenden. Die Forscher waren genöthigt, lange Zeit hindurch Platten von Turmalin zu diesem Zweck zu verwenden und die Resultate,

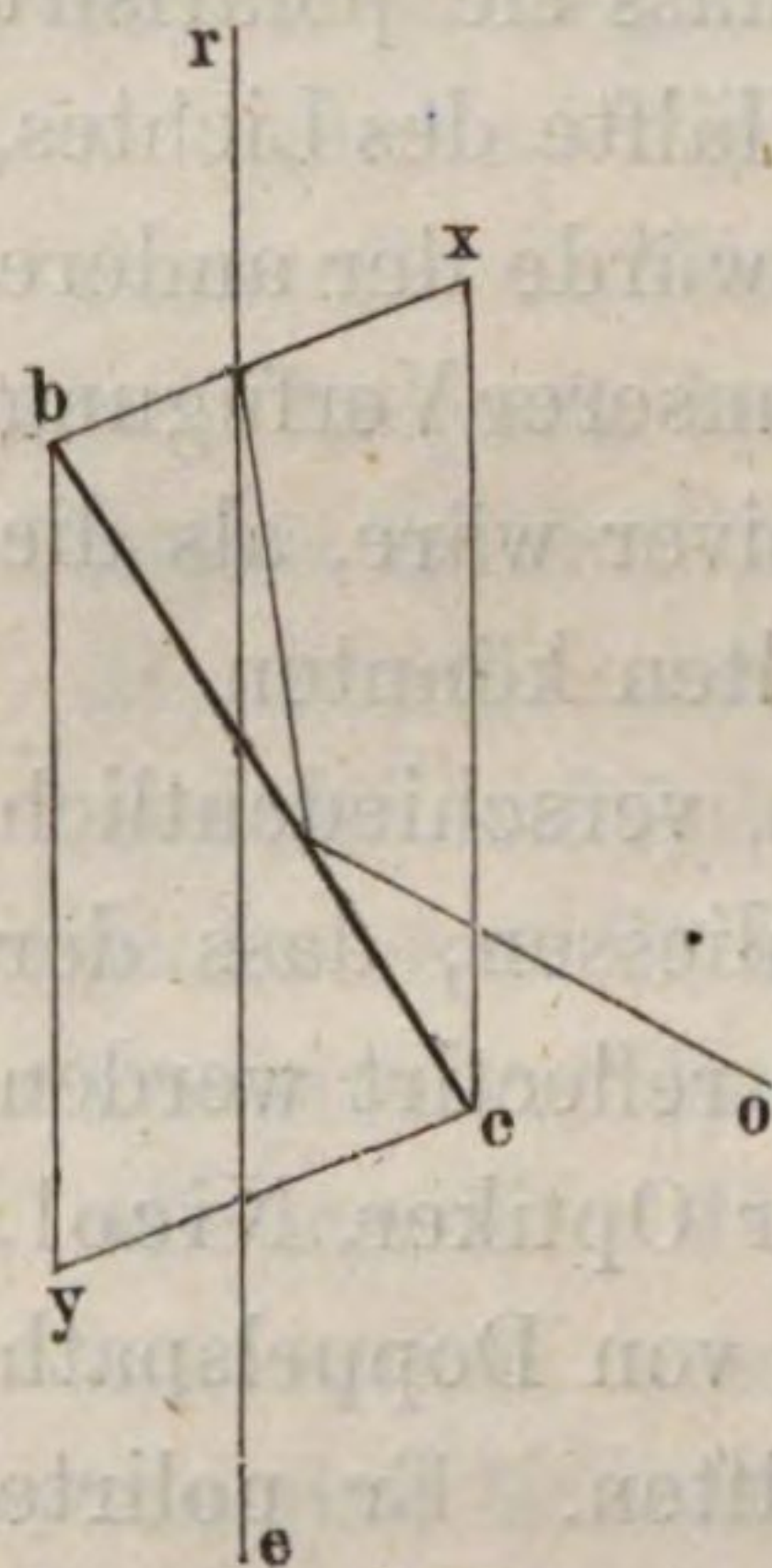
die sie mit so mangelhaften Versuchsmitteln erhielten, sind überraschend. Diese Männer waren aber mit ganzem Herzen bei der Arbeit und konnten daher grosse Erfolge mit kleinen instrumentalen Hilfsmitteln erzielen. Doch brauchen wir für unsere Zwecke weit grössere Apparate, und diesem Mangel ist glücklicher Weise in der letzten Zeit in bedeutendem Maasse abgeholfen. Wir haben die beiden Strahlen, die der Doppelspath aussendet, gesehen und untersucht, und haben bewiesen, dass sie polarisirt sind. Könnten wir, bei Aufopferung der Hälfte des Lichtes, einen von diesen Strahlen vernichten, so würde der andere einen Strahl von polarisirtem Licht zu unserer Verfügung stellen, der in keinem Verhältniss intensiver wäre, als die Strahlen, die wir durch Turmaline erhalten könnten.

Die Strahlen werden, wie Sie wissen, verschiedentlich gebrochen, und daraus können wir schliessen, dass der eine unter gewissen Verhältnissen total reflectirt werden kann, der andere nicht. Ein geschickter Optiker, Nicol, benutzte dies und schnitt einen Krystall von Doppelspath in einer gewissen Richtung in zwei Hälften. Er polirte die getrennten Oberflächen und verband sie wieder durch Canadabalsam, und zwar so, dass die Verbindungsfläche so gegen den den Spath durchschneidenden Strahl geneigt war, dass der ordentliche Strahl, der der stärkst gebrochene ist, vom Balsam total reflectirt wurde, während der ausserordentliche Strahl ungehindert hindurchgehen konnte.

$bx\ cy$ (Fig. 36, a. f. S.) möge den Durchschnitt eines verlängerten Rhombus vorstellen, der von einem Doppelspath abgespalten worden ist. Dieser Rhombus sei in der Richtung der Linie bc durchschnitten, und die beiden getrennten Oberflächen, nachdem sie polirt worden sind, seien wieder durch Canadabalsam verbunden.

Wir haben in unserer ersten Vorlesung gehört, dass die totale Reflexion nur dann eintritt, wenn ein Strahl aus einem stärker brechenden Medium in ein weniger brechendes überzugehen sucht, und dass dies unter diesen Umständen immer eintritt, wenn die Neigung genügt. Nun ist der Brechungsindex des Doppelspathes für den ausserordentlichen Strahl geringer, für den ordentlichen grösser, als im Canada-

Fig. 36.



balsam. Geht daher der ausserordentliche Strahl vom Spath zum Balsam, so geht er dabei von einem schwächer brechenden Medium zu einem stärker brechenden Medium über, wo eine totale Reflexion nicht eintreten kann; während der ordentliche Strahl von einem stärker brechenden zu einem weniger brechenden Medium übergeht, wo die totale Reflexion eintreten kann. Die erforderliche Neigung erreicht man, wenn man den Rhombus so lang macht, dass die Ebene, deren Durchschnitt bc ist, senkrecht oder fast senkrecht auf den beiden Endflächen des Rhombus bx, cy steht.

Die Erfindung des Nicol'schen Prismas war ein grosser Fortschritt für die praktische Optik, und ganz kürzlich sind solche Prismen von einer solchen Grösse hergestellt worden, dass man damit einer Zuhörerzahl, wie der gegenwärtigen, die Farbenerscheinungen von polarisirtem Licht in einer Ausdehnung zeigen kann, wie es früher ganz unmöglich war. Diese beiden Prismen gehören meinem ausgezeichneten Freund Herrn William Spottiswoode und wurden von Herrn Ladd angefertigt. Ich habe noch ein Paar anderer sehr schö-

ner Prismen bei mir, die noch grösser als diese sind und die Herr Browning für mich gemacht hat, der sich einen so grossen und wohlverdienten Ruf als Verfertiger von Spectroskopen erworben hat¹⁾.

Diese beiden Nicol'schen Prismen spielen dieselbe Rolle, wie die beiden Turmalinplatten. Mit ihren Schwingungsrichtungen parallel gestellt, lassen beide das Licht hindurch; wenn diese Richtungen sich kreuzen, wird das Licht ausgelöscht. Führen wir ein Glimmerblättchen zwischen die Prismen ein, so wird das Licht wieder hergestellt. Doch merken Sie wohl, wenn das Glimmerblättchen dünn ist, erhalten Sie oft nicht nur Licht, sondern auch gefärbtes Licht. Unsere Aufgabe für die nächste Zeit wird in der Untersuchung dieser Farben bestehen. In dieser Absicht will ich einen Krystall als Beispiel nehmen, mit dem man wegen seiner leichten Spaltbarkeit gut arbeiten kann, den krystallisirten Gyps oder Selenit oder krystallisirten schwefelsauren Kalk. Ich bringe zwischen die gekreuzten Nicol's eine dicke Platte von diesem Krystall; wie der Glimmer, stellt sie den Durchgang des Lichtes wieder her, erzeugt aber keine Farbe. Mit meinem Federmesser spalte ich einen dünnen Splitter von diesem Krystall ab und bringe ihn zwischen die Prismen; das Bild des Splitters leuchtet in den lebhaftesten Farben. Drehe ich das vordere Prisma, so erbleichen und verschwinden allmählich die Farben; drehe ich aber weiter, bis die Schwingungsebenen der Prismen einander parallel sind, so zeigen sich von Neuem lebhaftere Farben; dieselben sind indess den früheren complementär.

¹⁾ Das grösste und reinste bisher verfertigte Prisma ist vor Kurzem für Herrn Spottiswoode von den Herren Sisley und Spiller angefertigt worden.

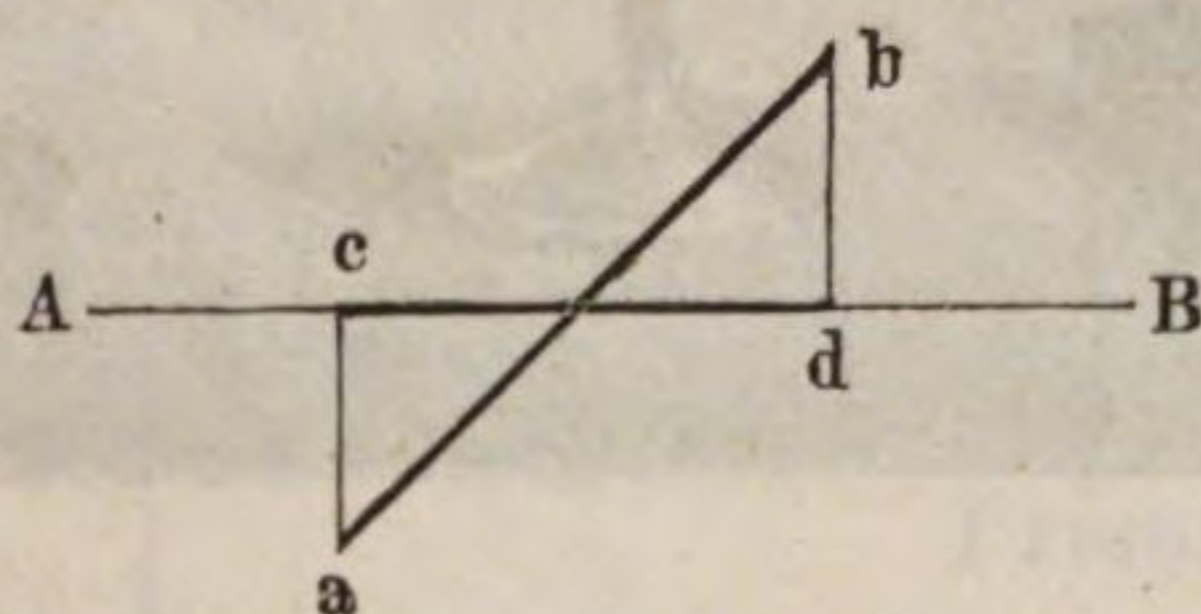
Einige Theilchen dieses Splitters erscheinen in einer Farbe, andere in einer andern. Diese Verschiedenheit kommt von der verschiedenen Dicke des Blättchens her. Wie bei den Hooke'schen dünnen Platten ist, wenn die Dicke gleichmässig, auch die Farbe gleichmässig. Hier ist z. B. ein Stern, jeder Zacken desselben ist, wie Sie sehen, ein Gypsblättchen von gleichmässiger Dicke; jeder Zacken zeigt die gleiche und leuchtende Farbe. Wir können leicht, wenn wir unsere Blättchen so formen, dass sie Blumen oder andere Gegenstände darstellen, diese in so glänzenden Farben spielen lassen, wie sie die Kunst nicht herstellen kann. Hier ist z. B. eine Art Stiefmütterchen, dessen Farbenpracht kaum ein Künstler wiedergeben könnte. Drehen wir das vordere Nicol um 90 Grad, so gehen wir durch eine farblose Phase zu einer Farbenreihe über, die der früheren complementär ist. Diesen Wechsel können wir noch überraschender an einem Rosenstock zeigen, der jetzt in seinen natürlichen Farben erscheint — Sie sehen eine rothe Blume und grüne Blätter; drehen wir das Prisma um 90 Grad, so erhalten wir eine grüne Blume und rothe Blätter. Alle diese wunderbaren Farbenerscheinungen haben bestimmte mechanische Ursachen in den Aetherbewegungen. Das Gesetz der Interferenz erklärt sie alle bei richtiger Anwendung und Deutung.

Sie haben erfahren, dass das Wort „Licht“ in zwei Bedeutungen gebraucht werden kann; es kann den Eindruck bedeuten, den es auf das Bewusstsein macht, oder es kann das physikalische Agens bedeuten, das den Eindruck hervorruft. Wir müssen uns jetzt mit dem Agens beschäftigen. Dieses Agens ist eine Substanz, die den ganzen Raum erfüllt und alle Atome und Moleküle

der Körper umgiebt. Diesem Medium, das zwischen den Sternen und Atomen liegt, werden bestimmte mechanische Eigenschaften zugeschrieben, und wir behandeln es in unseren Betrachtungen und Berechnungen, wie einen Körper, der diese Eigenschaften besitzt. In der Mechanik berechnen wir die Zusammensetzung und die Zerlegung von Kräften und Bewegungen, und gelangen dabei bis zur Zusammensetzung und Zerlegung von Schwingungen. Wir behandeln den leuchtenden Aether nach mechanischen Gesetzen, und von der Zusammensetzung, Zerlegung und Interferenz seiner Schwingungen leiten wir alle Erscheinungen ab, die die Krystalle im polarisirten Licht zeigen.

Wir wollen als Beispiel den Krystall des Turmalins nehmen, den wir jetzt kennen. Eine Schwingung kreuzt diesen Krystall in schiefer Richtung zu seiner Axe. Der

Fig. 37.

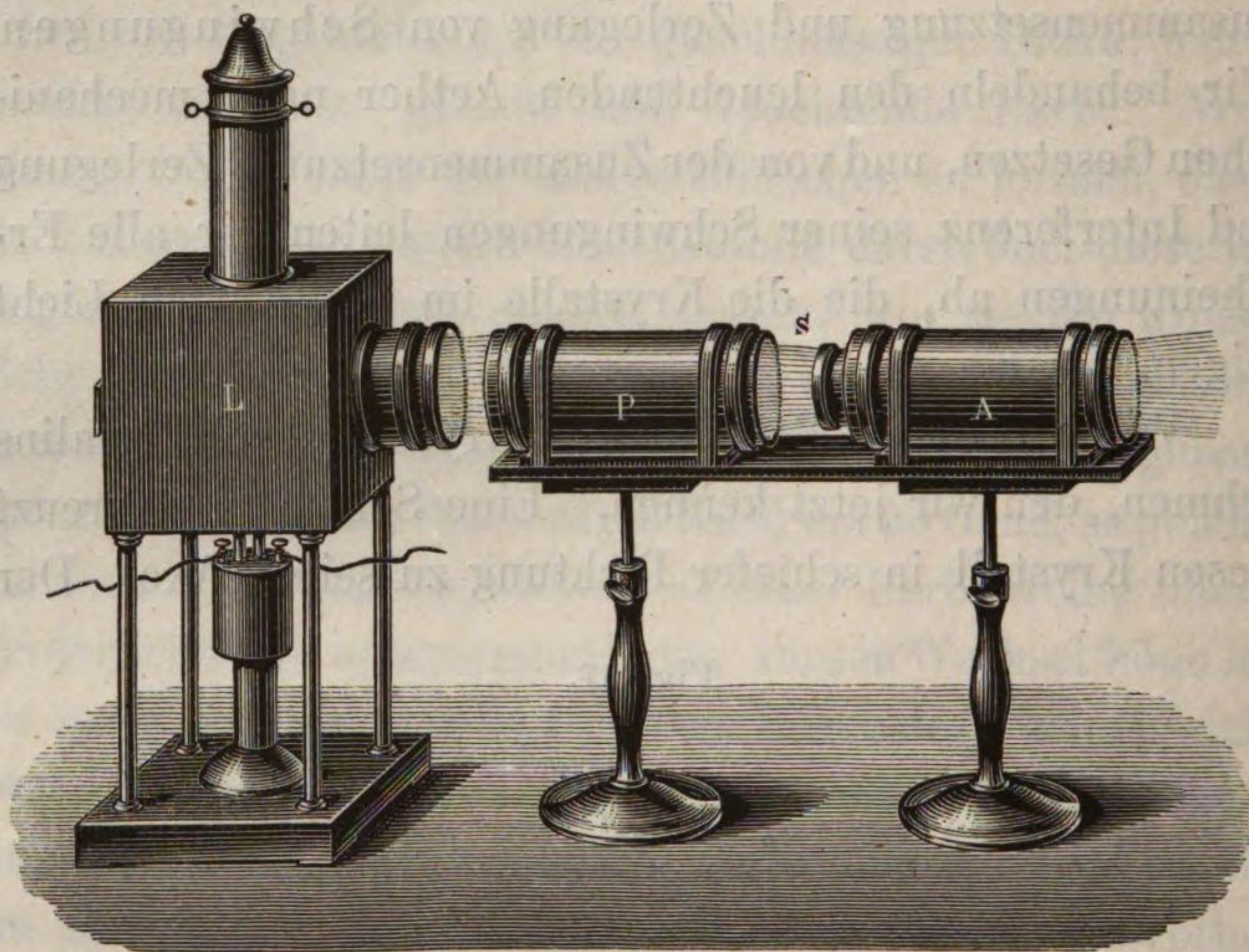


Versuch hat uns bewiesen, dass ein Theil des Lichtes hindurchgeht. Wie viel hindurchgeht, können wir auf folgende Weise bestimmen. AB , Fig. 37, sei die Axe des Turmalins und ab sei die Amplitude der Aetherschwingung, ehe sie AB erreicht. Von a und b wollen wir die beiden senkrechten Linien ac und bd auf die Axe fällen; dann wird cd die Amplitude der durchgelassenen Schwingung sein.

Wir wollen uns sogleich der Wirkung zuwenden, welche ein Gypsblättchen ausübt, wenn es zwischen zwei Nicol'sche Prismen gelegt wird. Doch ist es beim Be-

ginn wünschenswerth, die Analogie zwischen der Wirkung der Prismen und der von zwei Platten von Turmalin näher zu bestimmen. Sie sehen jetzt das vergrößerte Bild dieser Platten mit ihren rechtwinklig auf einander gestellten Axen vor sich. Ich lege ein Gypsblättchen dazwischen und Sie sehen, wenn ich das Blättchen herum-

Fig. 38.



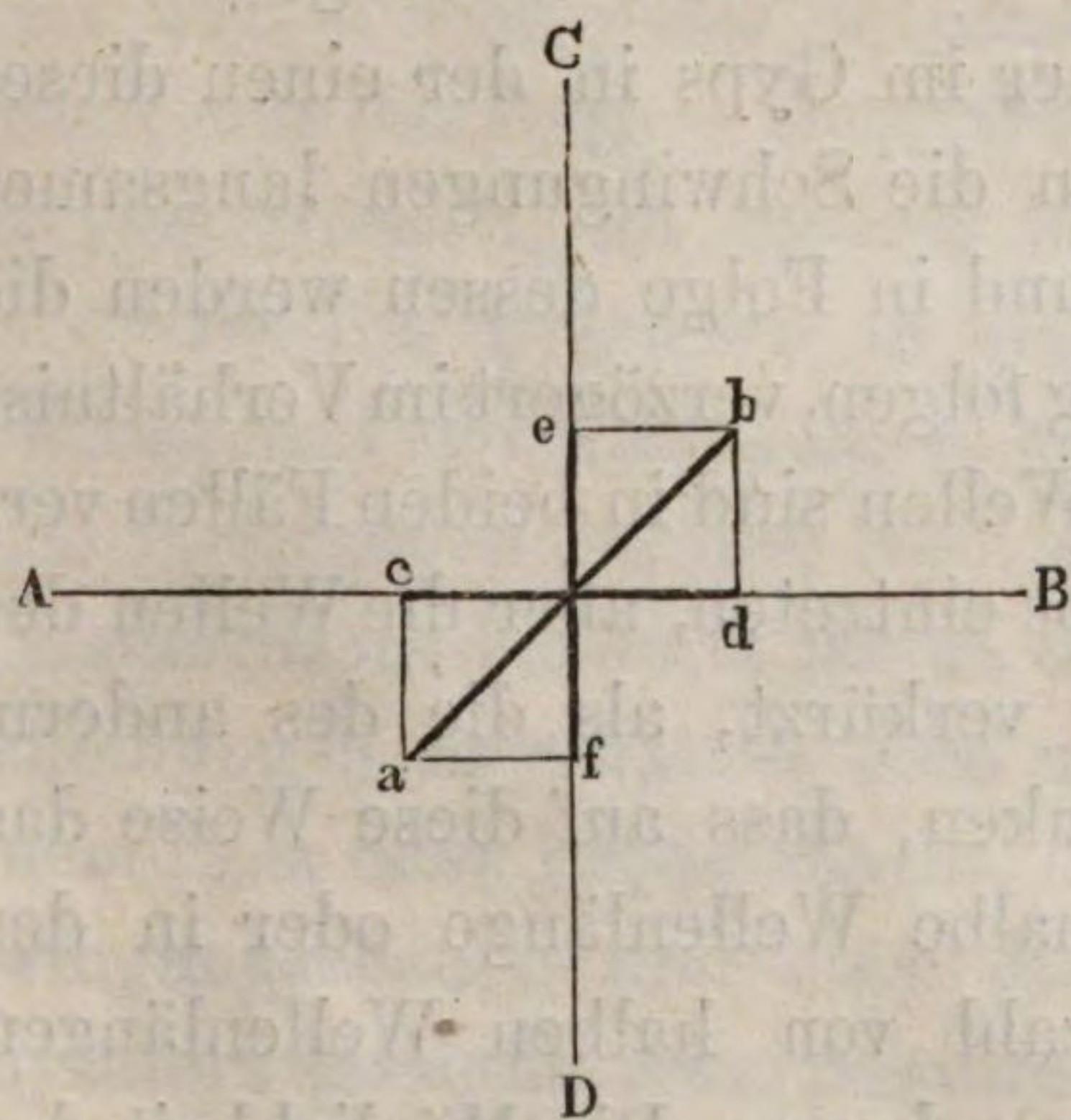
drehe, dass ich es in eine Lage bringen kann, in der es nicht im Stande ist, die Dunkelheit der daraufliegenden Theile des Turmalins zu vernichten. Woher kommt dies? Die Antwort lautet, dass im Gyps zwei Richtungen herrschen, die auf einander senkrecht stehen, in denen allein Schwingungen eintreten können, und dass in unserm jetzigen Versuch die eine dieser Richtungen einer der Axen des Turmalins parallel und die andere der andern Axe parallel ist. Ist dies der Fall, so übt das Blättchen keinen bemerkenswerthen Einfluss auf das Licht aus. Doch jetzt drehe ich das Blättchen so, dass ich

die Schwingungsrichtungen gegen die beiden Axen in eine schiefe Lage bringe; dann wird dadurch, wie Sie sehen, und wie ich es in der letzten Vorlesung gezeigt habe, das Licht wieder hergestellt.

Wir wollen jetzt unsere Nicol'schen Prismen aufstellen und sie kreuzen, wie wir die Turmalinplatten gekreuzt haben. Wenn wir unser Gypsblättchen zwischen sie einführen, so beobachten Sie, dass das Blättchen in einer gewissen Lage gar keinen Einfluss auf das Gesichtsfeld hat. Wenn aber das Blättchen ein klein wenig gedreht wird, so fällt das Licht hindurch. Wir müssen nun den Mechanismus verstehen lernen, durch den dieses erzielt wird.

Wir haben also zuerst das erste Prisma *P*, Fig. 38, das das Licht von der elektrischen Lampe *L* erhält und der Polarisator genannt wird. Dann haben wir die Gypsplatte (von der wir annehmen, sie sei bei *s* aufgestellt)

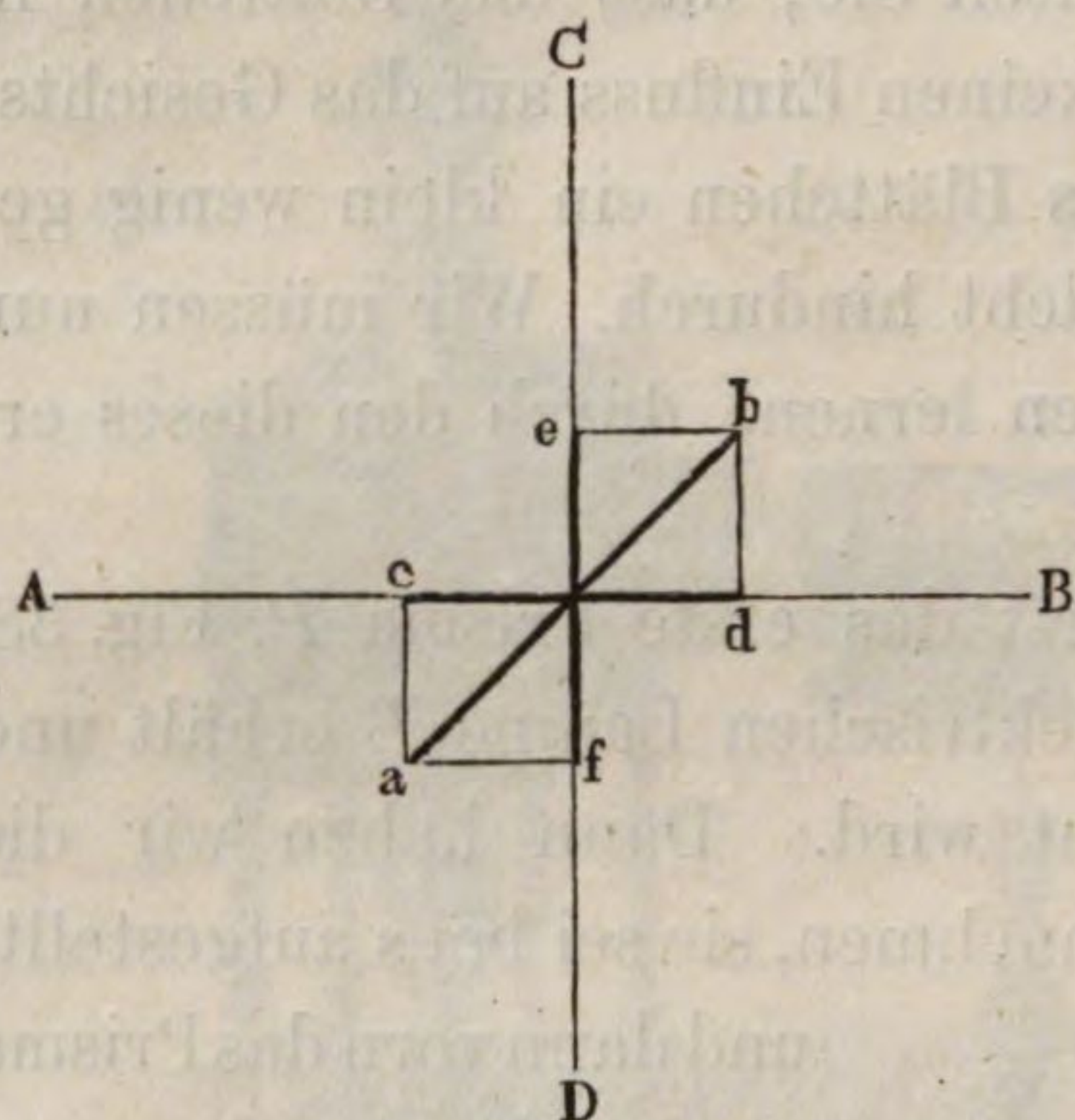
Fig. 39.



und dann vorn das Prisma *A*, das der Analysator heisst. Bei seinem Ausreten aus dem ersten Prisma ist das Licht polarisirt, und in dem besondern, jetzt vorliegenden Fall werden seine Schwingungen in der Horizontalebene ausgeführt. Die beiden Richtungen der Schwingungsebenen des Gypses bei *s* sind jetzt schräg gegen den Horizont geneigt. Ziehen Sie ein rechtwinkliges Kreuz (*AB*, *CD*, Fig. 39), um die beiden Richtungen der

Schwingungen im Gyps darzustellen. Ziehen Sie ferner eine Linie (ab), um die Amplitude der Schwingung vom ersten Nicol darzustellen, wenn sie den Gyps erreicht. Füllen Sie von den beiden Enden dieser Linie zwei Lothe auf die beiden Arme des Kreuzes; dann stellen die Entfernungen (cd , ef) zwischen den Fusspunkten dieser

Fig. 39.



Lothe die Amplituden der zwei rechtwinkligen Schwingungen dar, die die Componenten der ersten einzelnen Schwingung bilden. So wird der polarisirte Strahl, wenn er in den Gyps eintritt, in seine zwei gleichwerthigen Theile zerlegt, die im rechten Winkel zu einander schwingen.

Nun pflanzt der Aether im Gyps in der einen dieser rechtwinkligen Richtungen die Schwingungen langsamer fort, als in der andern, und in Folge dessen werden die Wellen, die dieser Richtung folgen, verzögert im Verhältniss zu denen der andern. Die Wellen sind in beiden Fällen verkürzt, wenn sie in den Gyps eintreten, aber die Wellen des einen Systems sind mehr verkürzt, als die des andern. Sie können sich leicht denken, dass auf diese Weise das eine Wellensystem eine halbe Wellenlänge oder in der That jede beliebige Anzahl von halben Wellenlängen dem andern voraus kommen kann. Die Möglichkeit der Interferenz leuchtet hier augenblicklich ein. Eine geringe Ueberlegung wird es Ihnen indess klar machen, dass, so lange die Schwingungen im rechten Winkel zu ein-

ander ausgeführt werden, sie sich gegenseitig nicht aufheben können, welches die Verzögerung auch immer sein mag. Dies führt uns unmittelbar zu der Rolle, die der Analysator spielt, dessen einzige Thätigkeit darin besteht, dass er beide Schwingungen, die vom Gyps ausgehen, wieder zusammenfügt. Er führt sie auf eine einzige Ebene zurück, wo dann, wenn die eine von ihnen gehörig verzögert wird, eine vollständige Auslöschung eintritt.

Hier aber kommen, wie bei den dünnen Blättchen, die verschiedenen Längen der Lichtwellen in Betracht. Roth beansprucht eine grössere Dicke, um die zur Auslöschung nöthige Verzögerung zu erzeugen, als Blau; wenn daher die längeren Wellen durch die Interferenz fortgenommen worden sind, so bleiben die kürzeren zurück, und das Gypsblättchen leuchtet in den Farben, die sie erzeugen. Und umgekehrt, sind die kürzeren Wellen fortgenommen, so ist die Dicke der Art, dass die längeren Wellen bleiben. Eine elementare Betrachtung genügt, um zu zeigen, dass, wenn die Schwingungsrichtungen der Prismen und des Gypses einen Winkel von fünfundvierzig Grad einschliessen, die Farben in ihrem grössten Glanz sind. Wird das Blättchen in seiner Ebene gedreht, so erbleichen die Farben allmählich, bis dass sie an dem Punkt, wo die Richtungen parallel sind, ganz verschwinden.

Vielleicht ist das beste Mittel, um eine Kenntniss dieser Erscheinungen zu erhalten, dass man sich ein Modell von dünnem Holz oder Pappe macht, das die Gypsplatte, ihre Schwingungsebenen und auch die des Polarisators und Analysators darstellt. Zwei parallele Stücke Pappe *EFGH* und *ABCD* sind durch ein Intervall von einander getrennt, das die Dicke des Gypsblättchens vorstellt. Zwischen ihnen stellen zwei diagonale Stücke, die sich im rechten Winkel schneiden, die Schwingungsebenen im Blättchen

Prismen parallel sind, durch die complementären Erscheinungen ersetzt werden, wenn die Nicol'schen Prismen senkrecht zu einander stehen.

Bei der folgenden Betrachtung wollen wir der Einfachheit halber mit einfarbigem Licht arbeiten, z. B. mit rothem Licht, welches durch Absorption sehr leicht zu erhalten ist. Nehmen wir an, dass eine gewisse Dicke des Gypses eine Verzögerung von einer halben Wellenlänge bewirkt, so wird die doppelte Dicke eine Verzögerung von zwei halben Wellenlängen bewirken, die dreifache Dicke eine Verzögerung von drei halben Wellenlängen und so fort. Wenn nun die Nicol'schen Prismen parallel sind, so bewirkt die Verzögerung einer halben Wellenlänge oder irgend einer ungeraden Anzahl von halben Wellenlängen eine vollständige Auslöschung; bei allen Dicken anderseits, die der Verzögerung einer geraden Zahl von halben Wellenlängen entsprechen, unterstützen sich die beiden Strahlen gegenseitig, wenn sie durch den Analysator auf die gleiche Ebene gebracht worden sind. Nehmen wir also eine keilförmige Platte, die von vorn nach hinten allmählich dicker wird, so müssen wir im rothen Licht eine Reihe von abwechselnden hellen und dunkeln Streifen erwarten; die dunkeln Streifen müssen bei den Dicken eintreten, welche Verzögerungen von ein, drei, fünf u. s. f. halben Wellenlängen bewirken, während die hellen Streifen zwischen den dunkeln liegen. Der Versuch beweist, dass das keilförmige Blättchen diese Streifen zeigt. Sehr schön erscheinen sie bei einem runden Blättchen, das so bearbeitet ist, dass es im Centrum am dünnsten ist und allmählich nach dem Rande zu an Dicke zunimmt. Man erzeugt so eine prächtige Reihe von hellen und dunkeln Ringen.

Wenn wir, statt rothes Licht anzuwenden, blaues nehmen, so sieht man die Ringe ebenfalls; da sie aber in

dünneren Theilen des Blättchens auftreten, so sind sie kleiner als die Ringe, die man mit rothem Licht erhält. Wir können hiernach die Resultate voraussehen, die man bei Anwendung von weissem Licht erhält; da das Roth und Blau an verschiedene Orte fallen, so erzeugt das weisse Licht Ringe in Regenbogenfarben.

Einige der Farbenwirkungen der unregelmässigen Krystallisation sind wunderbar schön. Könnte ich zwischen unsere Nicol'schen Prismen eine Glasplatte einfügen, die mit den Eisblumen bedeckt wäre, wie sie das kalte Wetter jetzt so schön hervorzaubert, so würden die prächtigsten Farben erscheinen. Die herrlichen Wirkungen der unregelmässigen Krystallisation der Weinsäure und anderer Substanzen auf Glasplatten, die ich Ihnen jetzt hier zeige, beweisen, was Sie von der überfrorenen Fensterscheibe zu erwarten hätten. Aber nicht nur krystallinische Körper wirken auf diese Weise auf das Licht, sondern auch fast alle Körper, die eine bestimmte Structur haben. Ganz allgemein üben alle organischen Körper diese Wirkung aus; denn ihr Bau bedingt eine Anordnung der Moleküle und des Aethers, die eine doppelte Brechung zur Folge hat. Ein Hornblättchen oder ein Muscheltheilchen giebt z. B. sehr schöne Farben im polarisirten Licht. Der Aether besitzt sicher verschiedene Elasticitätsgrade im Baum, nach der Längs- oder Querrichtung zu den Fasern, und wäre das Holz durchsichtig, so würde diese Eigenthümlichkeit der molekularen Structur sich sicher durch eben solche Farbenerscheinungen enthüllen, wie Sie sie eben gesehen haben. Doch wirken nicht nur Naturkörper allein auf diese Weise, sondern es ist auch möglich, wie Brewster bewiesen hat, durch einen künstlichen Zug oder Druck den nichtkrystallinischen Körpern, wie z. B. gewöhnlichem Glase, eine vorübergehende, doppelt brechende Structur zu geben.

Dieser Satz verdient eine nähere Betrachtung. Lege ich einen Holzstab über mein Knie und versuche ihn durchzubrechen, welches ist dann der mechanische Zustand des Stabes? Er giebt nach und seine convexe Oberfläche wird longitudinal gedehnt; seine concave Oberfläche, die meinem Knie zunächst ist, wird longitudinal zusammengedrückt. In beiden Theilen, sowohl im gedehnten als im zusammengedrückten, wird der Aether in einen Zustand versetzt, der das Holz, wenn es durchsichtig wäre, doppelt brechend machen würde. Denn in Fällen, die diesem ähnlich sind, ist das longitudinale Auseinanderziehen der Moleküle immer von einer Annäherung aneinander in transversaler Richtung begleitet, während der longitudinale Druck von einer lateralen Entfernung begleitet wird. Jede Hälfte des Holzstabes zeigt diesen Gegensatz und ist daher doppelt brechend.

Wir wollen diesen Versuch jetzt mit einem Glasstab wiederholen. Ich füge zwischen den gekreuzten Nicol'schen Prismen solch einen Stab ein. Bei dem schwachen Ueberrest des auf dem Schirm noch zurückgebliebenen Lichtes sehen Sie das Bild des Glases, aber es übt keinen Einfluss auf das Licht aus. Ich biege nur den Glasstab mit meinem Finger und Daumen und halte seine Längsrichtung schief gegen die Schwingungsrichtungen der Nicol'schen Prismen. Augenblicklich leuchtet Licht auf dem Schirm auf. Die beiden Seiten des Stabes erscheinen hell, die Ränder am meisten, denn hier sind Druck und Dehnung am grössten. Wenn wir von den Stellen longitudinaler Dehnung zu den Stellen longitudinaler Pressung übergehen, so kommen wir durch einen Theil des Glases, wo keine Veränderung ausgeübt wird. Dies ist die sogenannte neutrale Axe des Glasstabes und ihr entlang sehen Sie einen dunkeln Streifen, der anzeigt, dass das Glas dieser

Axe entlang keinen Einfluss auf das Licht ausübt. Wenden wir statt des Druckes meines Fingers und Daumens eine Presse an, so wird der Glanz des Lichtes bedeutend vermehrt.

Ich habe hier eine quadratische Glasplatte, die in eine andere Art Presse eingesetzt werden kann. Füge ich die ungepresste quadratische Glasplatte zwischen die Prismen ein, so zeigt sich ihre Neutralität; doch kann sie kaum so lose in der Presse gehalten werden, dass sich ihre Wirkung nicht bethätigte. Sie sehen schon Lichtflecke an den Punkten, wo die Presse mit dem Glas in Berührung kommt, obgleich der Druck kaum bemerkbar ist. Ich drehe jetzt diese Schraube. Augenblicklich flammt das Bild der quadratischen Glasplatte auf dem Schirm auf, und man sieht leuchtende Räume, die von einander durch dunkle Streifen getrennt sind.

Jedes Paar dieser angrenzenden leuchtenden Räume befindet sich in entgegengesetzten mechanischen Bedingungen. Auf der einen Seite des dunkeln Streifens haben wir die Dehnung, auf der andern Seite den Druck; während der dunkle Streifen die neutrale Axe zwischen beiden anzeigt. Ich ziehe die Schraube jetzt fester an, und Sie sehen Farben; ziehe ich sie noch fester an, so erscheinen die Farben ebenso glänzend, wie bei den Kristallen. Löse ich die Schraube, so verschwinden augenblicklich die Farben; ziehe ich sie schnell wieder fester an, so erscheinen sie wieder. Aus den Farben einer Seifenblase konnte Newton auf ihre Dicke schliessen und so durch das Band des Gedankens anscheinend ganz fremdartige Dinge verbinden. Aus den hier vor Ihnen erscheinenden Farben könnte man auf die Stärke des angewendeten Druckes schliessen. Und in der That hat Wertheim in Paris ein Instrument für die Bestimmung

der Dehnung und des Druckes mittelst der Farben des polarisirten Lichtes erfunden, welches alle früheren derartigen Instrumente weit an Genauigkeit übertrifft.

Sie wissen, dass die Körper durch Wärme ausgedehnt und durch Kälte zusammengezogen werden. Wirkt die Erwärmung vollkommen gleichmässig, so treten keine localen Dehnungen oder Drucke auf; wird aber ein Theil eines festen Körpers erwärmt und andere Theile nicht, so ruft die Ausdehnung des erwärmten Theiles Dehnungen und Drucke hervor, die sich durch die Prüfung mit polarisirtem Licht offenbaren. Wird eine quadratische Platte von gewöhnlichem Fensterglas zwischen die Nicol'schen Prismen eingefügt, so sehen Sie ihren schwachen Umriss, aber sie übt keinen Einfluss auf das polarisirte Licht aus. Hält man sie einen Augenblick über die Flamme der Spirituslampe, ehe man sie wieder zwischen die Nicol'schen Prismen einführt, so fällt plötzlich Licht auf den Schirm. Hier haben Sie, wie bei der mechanischen Wirkung, leuchtende Räume der Dehnung, die durch dunkle neutrale Axen von den Räumen des Druckes getrennt sind.

Wir wollen jetzt die Wärme symmetrischer anwenden. Dieses kleine Glasquadrat ist in der Mitte durchbohrt; in die Oeffnung wird ein Stückchen Kupferdraht eingeführt. Stellen wir die quadratische Platte zwischen die Prismen und erwärmen den Draht, so geht die Wärme durch Leitung auf das Glas über, durch das sie sich vom Mittelpunkt nach den Aussenrändern hin ausbreitet. Sie sehen dann ein mattes Kreuz zwischen vier leuchtenden Quadranten, die allmählich anwachsen, bis das Kreuz nach und nach im Vergleich zu dem angrenzenden Glanz schwarz erscheint. Und wie wir beim Druck Farben hervorrufen konnten, so auch hier; wir können durch die richtige Anwendung der Wärme überraschende Farbenwirkungen

erzielen. Die für diese Farbenerzeugung nothwendige Bedingung kann dauernd erhalten werden, wenn wir zuerst das Glas genügend erhitzen und dann wieder schnell abkühlen, so dass die abgekühlte Masse in einem Zustand von Dehnung und Druck bleibt. Zwei oder drei Beispiele werden diesen Punkt näher erläutern. Fig. 41 und 42 stellen die Bilder dar, die wir durch zwei so vorbereitete

Fig. 41.



Fig. 42.

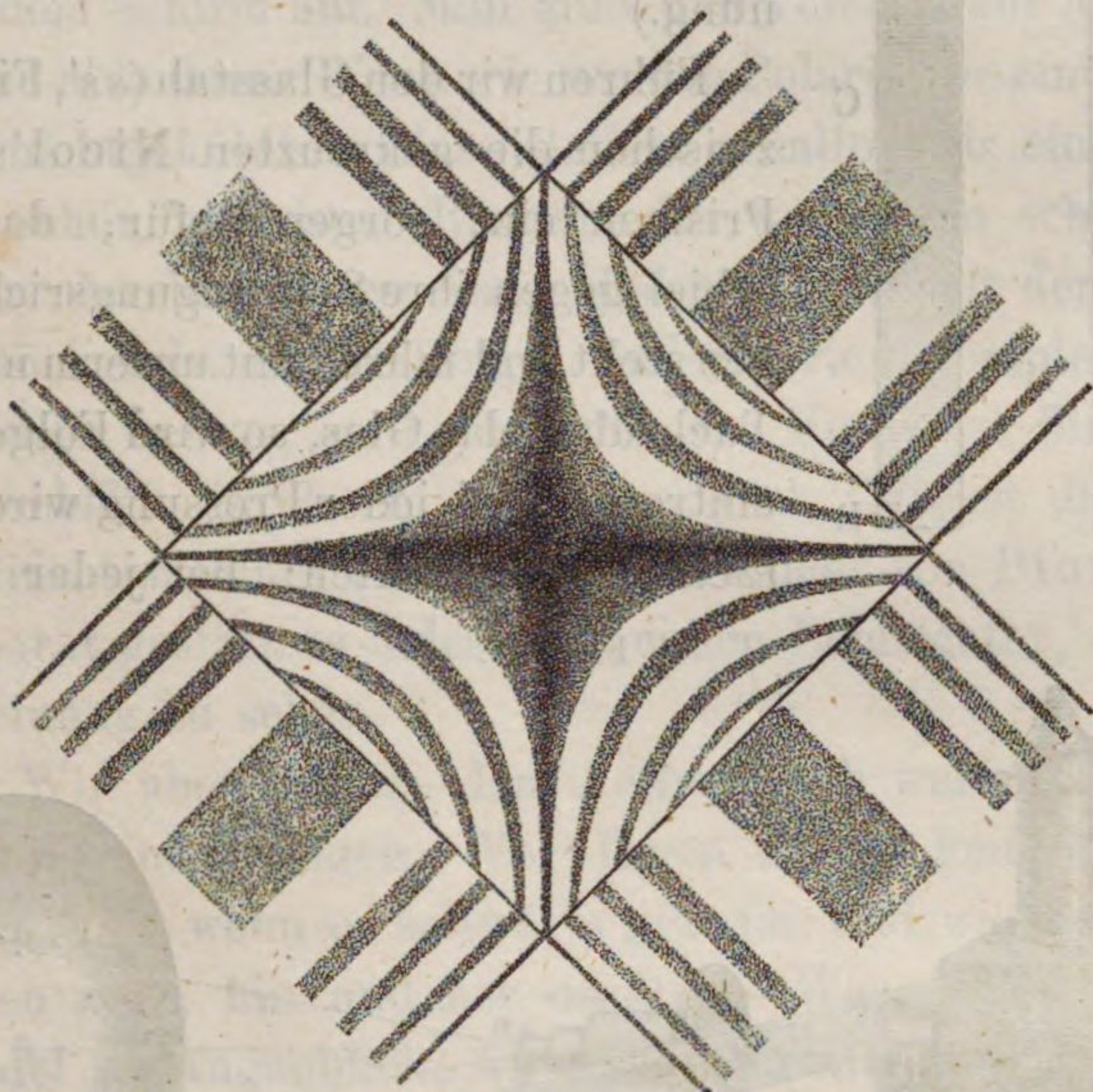


Glasplatten erhalten. Zwei rechtwinklige Platten von schnellgeköhltem Glas, die kreuzweis zwischen den Polarisator und den Analysator gestellt werden, zeigen die schöne regenbogenfarbige Franze, wie in Fig. 43.

Und jetzt müssen wir diese Betrachtungen zum endlichen Abschluss führen. Polarisirtes Licht kann auf verschiedene Weise als Reagens für molekulare Zustände benutzt werden. Es kann z. B. angewendet werden, um den Zustand eines festen Körpers zu bestimmen, wenn er tönt. Wir halten diesen Glasstab von 6 Fuss Länge, 2 Zoll Breite und ein Viertel Zoll Dicke in der Mitte zwischen Zeigefinger und Daumen. Ueber die eine Hälfte wird ein feuchtes wollenes Tuch gezogen; Sie hören einen scharfen Ton, der von den Schwingungen des Glases herrührt. Welches ist der Zustand des Glases, während der Ton gehört wird? Seine zwei Hälften verlängern und verkürzen

sich in rascher Aufeinanderfolge. Seine beiden Enden sind daher in einem Zustand rascher Schwingung; aber im Centrum begegnen sich die beiden Enden und entfernen sich abwechselnd von einander. Während dieser entgegengesetzten Wirkung bleibt das Glas im Centrum bewegungslos; auf der andern Seite aber wird es daselbst

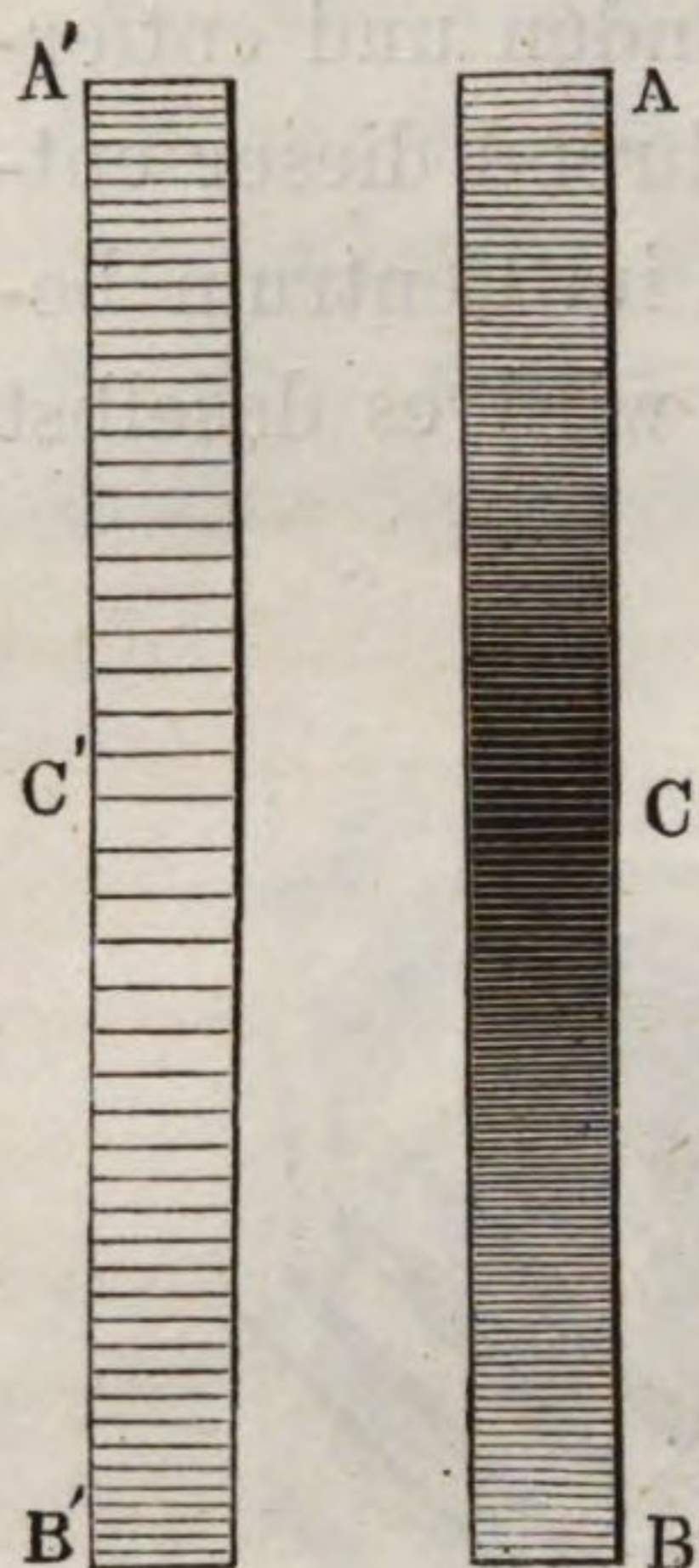
Fig. 43.



abwechselnd gedehnt und zusammengepresst. Der Zustand des Glases kann durch eine Reihe von Lichtpunkten bildlich dargestellt werden, wie die Fortpflanzung eines tönenden Anstosses in unserer zweiten Vorlesung dargestellt wurde. Durch eine einfache mechanische Vorrichtung kann man die Punkte hin- und herschwingen machen; die Punkte an den Enden haben die grösste Schwingungsweite, während die im Centrum abwechselnd zusammen- und auseinandergeschoben werden und

der Punkt im Centrum sich gar nicht bewegt. (In Fig. 44

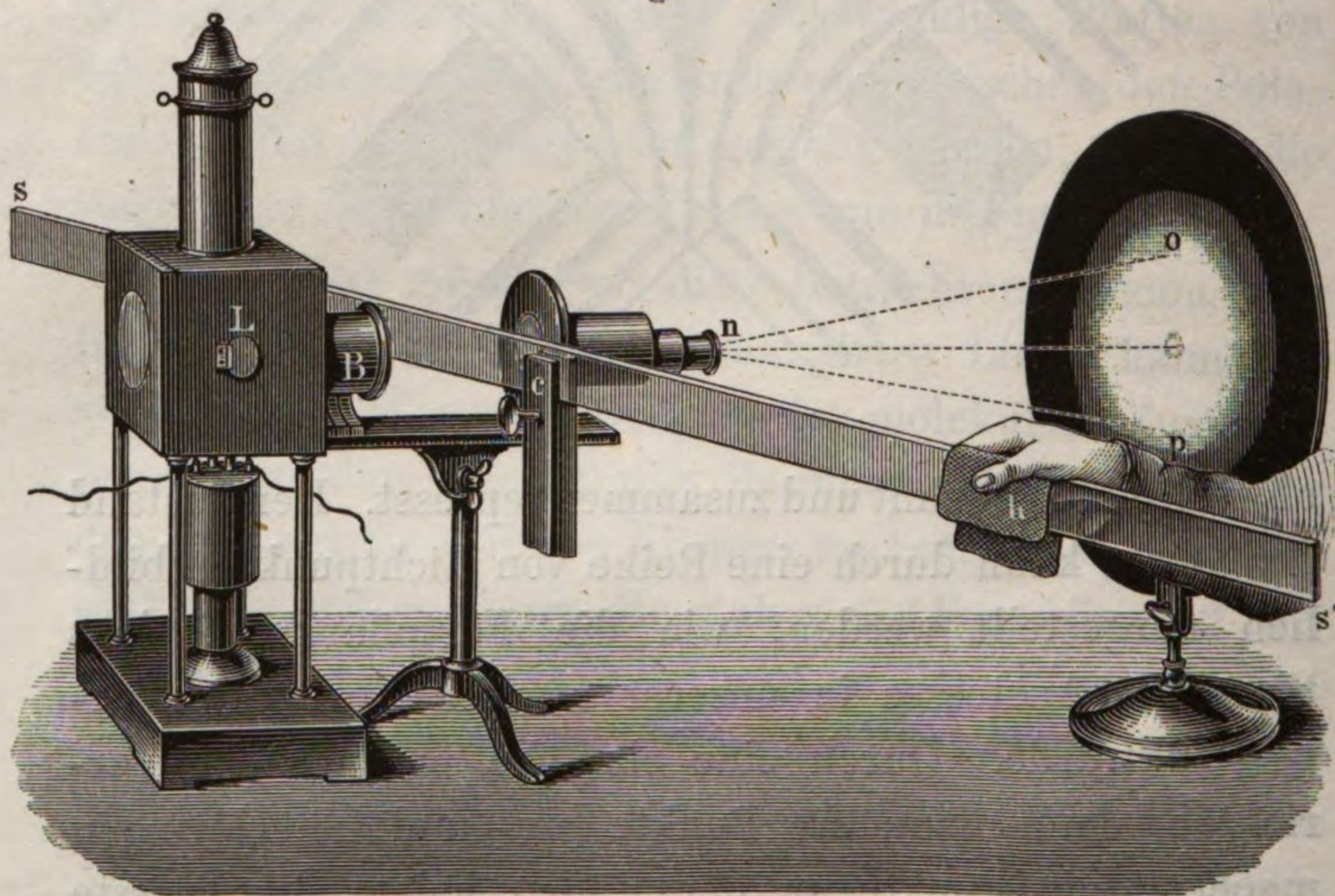
Fig. 44.



stellt AB das rechtwinklige Glas mit seinem verdichteten Centrum dar, während $A'B'$ dasselbe rechtwinklige Glas mit ausgedehntem Centrum C' darstellt. Die Enden des Stabes erleiden weder eine Verdichtung noch eine Verdünnung.)

Führen wir den Glasstab (ss' , Fig. 45) zwischen die gekreuzten Nicol'schen Prismen ein, sorgen dafür, dass er schief gegen ihre Schwingungsrichtungen steht und fahren mit unserm nassen Tuch über das Glas, so wird Folgendes eintreten: Bei jeder Pressung wird das Licht durchleuchten; bei jeder Deh-

Fig. 45.



nung und jedem Druck wird das Licht ebenfalls durchfallen, und diese Zustände des Drucks und der Dehnung

werden sich so rasch folgen, dass wir erwarten können, einen permanenten Lichteindruck auf das Auge zu erhalten. Durch eine rein theoretische Betrachtung kommen wir also zu dem Resultat, dass das Licht wieder auftritt, so oft das Glas in Tonschwingungen versetzt wird. Das dem so ist, beweist der Versuch; bei jedem Reiben mit dem Tuch leuchtet eine schöne, glänzende Scheibe (*op*) auf dem Schirm auf. Man kann den Versuch auf folgende Weise abändern: Wenn wir vor den Polarisator eine Platte von nichtgeköhltem Glase stellen, erhalten wir eine Reihe von schön gefärbten Ringen, die von einem schwarzen Kreuz durchschnitten sind. Jedes Reiben mit dem Tuch zerstört nicht nur die Ringe, sondern bringt complementär gefärbte hervor, und das schwarze Kreuz ist für einen Augenblick durch ein weisses ersetzt. Es ist dies eine Modification eines sehr schönen Versuchs von Biot. Sein Apparat gestattete indess nur einem Beobachter, die Erscheinung zu sehen.

Wir aber müssen dem Aether noch weiter in seine Schlupfwinkel folgen. Vor Ihnen ist ein Pendel aufgehängt, das, wenn es seitwärts gezogen und wieder freigelassen wird, hin und her oscillirt. Wenn ich nun dem Pendel im Augenblick, wo es den mittlern Punkt seines Weges erreicht, einen Stoss gebe, der es im rechten Winkel zu seiner bisherigen Richtung forttreibt, was geschieht? Die beiden Anstösse vereinen sich zu einer Schwingung, die schräg gegen die Richtung der frühern steht, aber das Pendel schwingt noch in einer Ebene. Wird aber der rechtwinklige Stoss dem Pendel ertheilt, wenn es an der Grenze seiner Ausschwingung angelangt ist, dann bewirkt die Vereinigung der beiden Anstösse, dass die aufgehängte Kugel nicht eine gerade Linie, sondern eine Ellipse beschreibt, und ist der zweite Anstoss gerade

genügend, um für sich eine Schwingung von derselben Amplitude, wie die erste, zu erzeugen, so wird aus der Ellipse ein Kreis.

Warum lege ich so viel Gewicht auf diese Dinge? Nur, damit Sie die Aehnlichkeit zwischen den groben mechanischen Schwingungen und den Schwingungen des Lichtes erkennen. Ich habe eine Quarzplatte in meiner Hand, die aus einem Krystall senkrecht gegen seine Axe geschnitten worden ist. Dieser so geschnittene Krystall besitzt die aussergewöhnliche Eigenschaft, die Schwingungsebene eines polarisirten Strahles um einen Winkel zu drehen, der von der Dicke des Krystalles abhängt. Je brechbarer das Licht, desto grösser ist die Drehung, so dass bei der Anwendung von weissem Licht die Schwingungsebenen der Farben, aus denen es besteht, fächerartig auseinander gebreitet werden. Stellen wir den Quarz zwischen den Polarisator und den Analysator, so sehen Sie dies herrliche Roth, und drehen wir den vordern Analysator von rechts nach links, so erscheinen die anderen Farben des Spectrums in ihrer Reihenfolge. Man hat Quarzarten gefunden, bei denen der Analysator von links nach rechts gedreht werden muss, um dieselbe Reihenfolge der Farben zu erhalten. Daher werden Krystalle der ersten Art rechte, und Krystalle der zweiten Art linke genannt.

Fresnel, dessen Genius wir hauptsächlich die Bearbeitung und den endlichen Triumph der Undulationstheorie des Lichtes verdanken, reproducirte im Geiste mit tiefem Verständniss den Mechanismus dieser Krystalle und bewies, dass sie ihre Wirkung dem Umstande verdanken, dass in ihnen die Wechselwirkung der Aetherwellen dieselben Bedingungen erzeugt, wie bei unserm rotirenden Pendel. Statt linear polarisirt zu sein, ist das

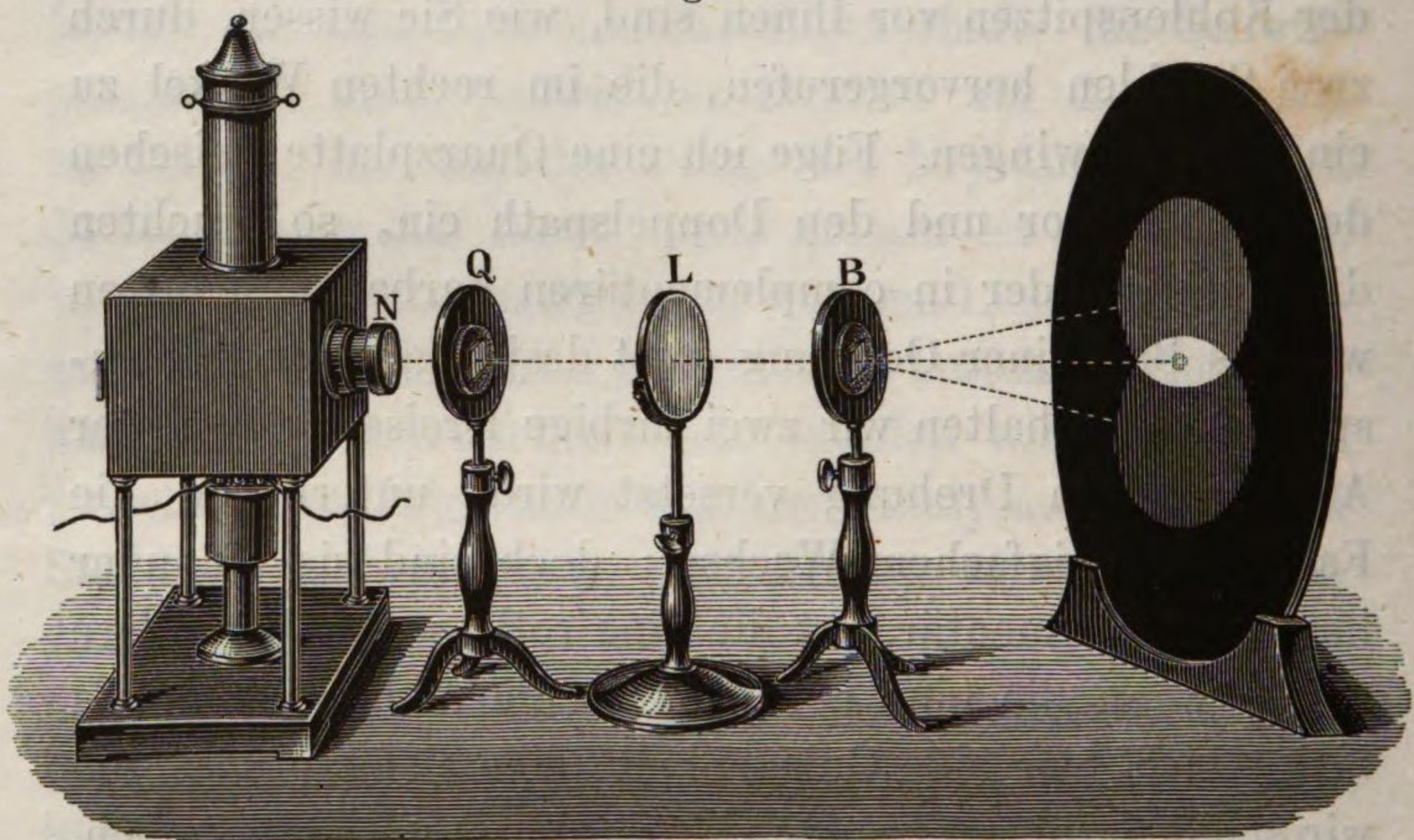
Licht im Bergkrystall circular polarisirt. Zwei solche Strahlen, die in der Richtung der Axe des Krystalles hindurchgelassen werden und in entgegengesetzten Richtungen rotiren, können, wenn sie durch den Analysator zur Interferenz gebracht werden, wie der Versuch zeigt, all die beobachteten Phänomene hervorrufen.

Ich nehme jetzt den Analysator fort und stelle an seinen Platz ein Stück Doppelspath, an dem wir schon die doppelte Brechung gezeigt haben. Die beiden Bilder der Kohlenspitzen vor Ihnen sind, wie Sie wissen, durch zwei Strahlen hervorgerufen, die im rechten Winkel zu einander schwingen. Füge ich eine Quarzplatte zwischen den Polarisator und den Doppelspath ein, so leuchten die beiden Bilder in complementären Farben. Benutzen wir das Bild einer Oeffnung statt desjenigen der Kohlenspitzen, so erhalten wir zwei farbige Kreise. Sowie der Analysator in Drehung versetzt wird, unterliegen die Farben mannigfachem Wechsel; doch sind sie einander immer complementär. Ist die eine roth, so ist die andere grün; wenn die eine gelb ist, ist die andere blau. Es bietet sich hier eine Gelegenheit, eine Behauptung, die wir schon in unserer ersten Vorlesung aufgestellt haben, von Neuem zu beweisen, dass nämlich, wenn auch eine Mischung von blauen und gelben Pigmenten Grün erzeugt, doch die Mischung von blauem und gelbem Licht weiss erscheint. Vergrössern wir unsere Oeffnung, so zwingen wir die beiden Bilder, die der Doppelspath hervorgerufen hat, sich einander zu nähern und zuletzt sich über einander zu lagern. Das eine ist jetzt ein lebhaftes Gelb, das andere ein lebhaftes Blau, und Sie werden beobachten, dass wir da, wo die Farben übereinander liegen, ein reines Weiss sehen (Fig. 46, a. f. S., wo *N* die Röhre der Lampe mit dem polarisirenden Nicol'schen Prisma, *Q* die

Quarzplatte, *L* die Linsen und *B* der doppeltbrechende Doppelspath ist. Beide Bilder decken sich in der Mitte und erzeugen durch ihre Mischung ein reines Weiss).

Dies führt uns auf einen Gegenstand in unseren Untersuchungen, der zwar selten in Vorlesungen durch Experimente erläutert wird, indess höchst wahrscheinlich unseren wissenschaftlichen Gedankengang für die Zukunft so wesentlich beeinflussen wird, dass ich ihn nicht gern unerwähnt

Fig. 46.



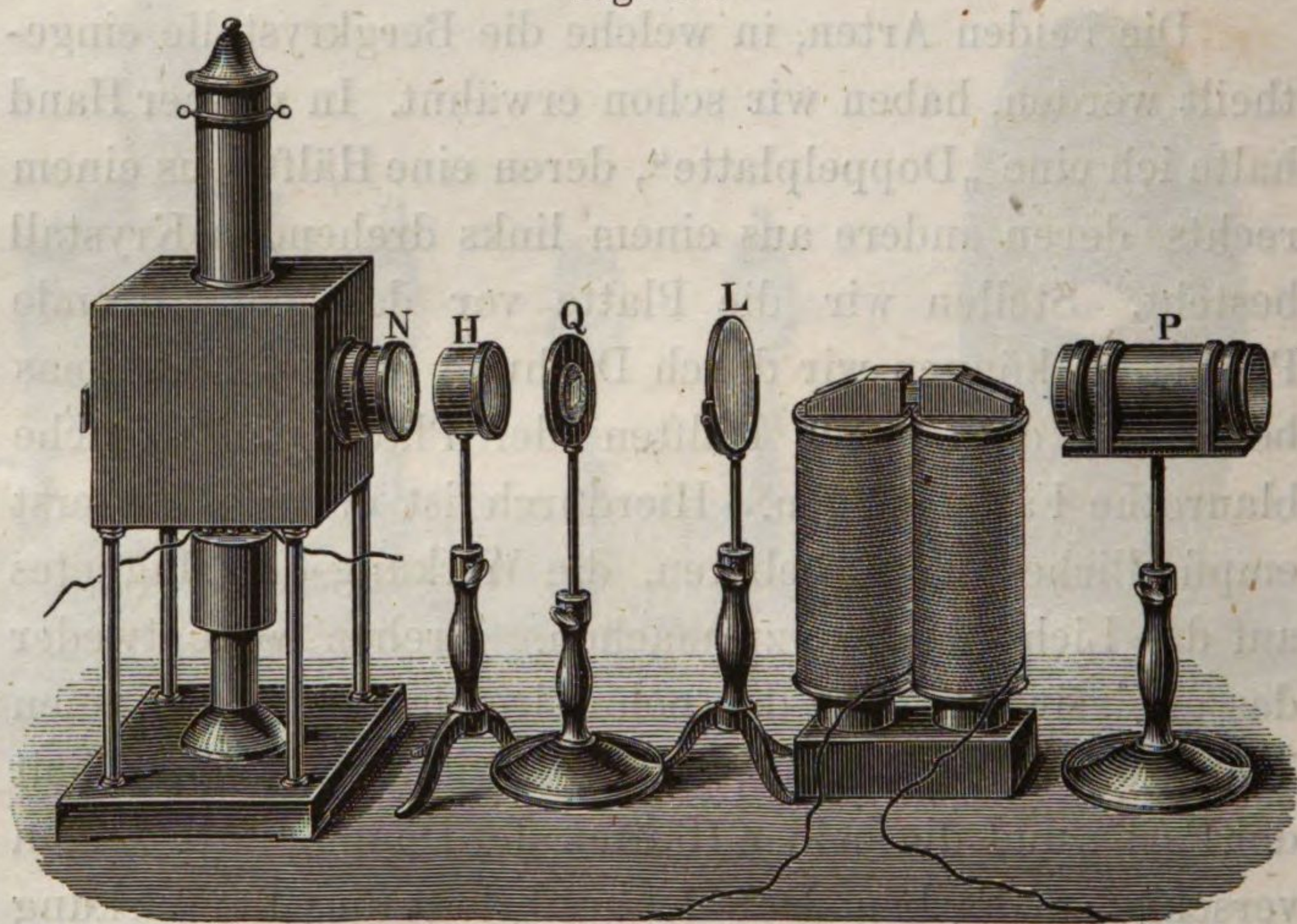
lassen möchte. Ich meine den Versuch, welchen Faraday, der ihn entdeckte, mit dem Namen der Magnetisirung des Lichtes belegte. Die Anordnung dieses berühmten Versuches steht vor Ihnen. Wir haben zuerst unsere elektrische Lampe, dann ein Nicol'sches Prisma, um den von der Lampe kommenden Strahl zu polarisiren; dann einen Elektromagnet, darauf ein zweites Nicol'sches Prisma und endlich einen Schirm. Die beiden Prismen sind jetzt gekreuzt und der Schirm ist dunkel. Ich bringe zwischen die Pole des Elektromagnetes einen Cylinder von einer

von Faraday zuerst dargestellten Glassorte, von sogenanntem Faraday'schem schwerem Glase. Durch dieses Glas geht jetzt der polarisirte Lichtstrahl hindurch, der von dem vordern Nicol aufgefangen wird. Ich errege jetzt den Magnet, und augenblicklich erscheint Licht auf dem Schirm. Bei genauerer Untersuchung zeigt sich, dass durch die Wirkung des Magnetes auf den Aether in dem schweren Glase die Polarisationsebene gedreht worden ist, so dass das Licht durch das analysirende Prisma hindurchgeht.

Die beiden Arten, in welche die Bergkrystalle eingetheilt werden, haben wir schon erwähnt. In meiner Hand halte ich eine „Doppelplatte“, deren eine Hälfte aus einem rechts, deren andere aus einem links drehenden Krystall besteht. Stellen wir die Platte vor das polarisirende Prisma, so können wir durch Drehung des einen Prismas bewirken, dass beide Hälften der Platte eine gleiche blaurothe Farbe zeigen. Hierdurch ist uns ein äusserst empfindliches Mittel geboten, die Wirkung des Magnetes auf das Licht sichtbar zu machen. Drehen wir entweder das analysirende oder das polarisirende Prisma um einen äusserst kleinen Winkel, so verschwindet die Gleichheit der Farbe und die beiden Hälften der Doppelplatte zeigen verschiedene Farben. Der Magnet bringt dieselbe Wirkung hervor. Der blaurothe Kreis ist jetzt vor Ihnen auf dem Schirm (Fig. 47, a. f. S., wo *N* die Oeffnung der Lampe, *H* das erste Nicol'sche Prisma, *Q* die Quarzdoppelplatte, *L* eine Linse, *M* der Elektromagnet mit dem schweren Glase zwischen seinen Polen, und *P* das zweite Nicol ist). Erregen wir den Magnet, so wird plötzlich die eine Hälfte des Bildes roth, die andere grün. Unterbrechen wir den Strom, so verschwindet der Unterschied und die frühere blaurothe Farbe tritt wieder hervor. Die Wirkung hängt

ausserdem von der Polarität des Magnetes oder in anderen Worten von der Richtung der Ströme ab, welche den Magnet umgeben. Kehren wir dieselbe um, so tritt das Roth und Grün wieder hervor; sie haben aber ihre Stellen vertauscht. Das Roth war vorher rechts, das Grün links; jetzt ist das Grün rechts, das Roth links. Mit dem grössten Scharfsinn hat Faraday alle diese Wirkungen untersucht und ihre Gesetze erforscht. Dieser Versuch blieb indess lange Zeit mehr eine wissenschaftliche Merkwürdigkeit, als

Fig. 47.



ein fruchtbringender Keim. Dass er Früchte von der höchsten Wichtigkeit tragen würde, davon war schon Faraday überzeugt, und neue Untersuchungen sind geeignet, seine Ueberzeugung zu bestätigen.

Es bedarf noch einiger Worte, um unsere Kenntniss hinsichtlich der wunderbaren Wechselwirkung zwischen den wägbaren Molekülen und dem zwischen ihnen liegenden Aether zu vervollständigen. Symmetrie der molekularen

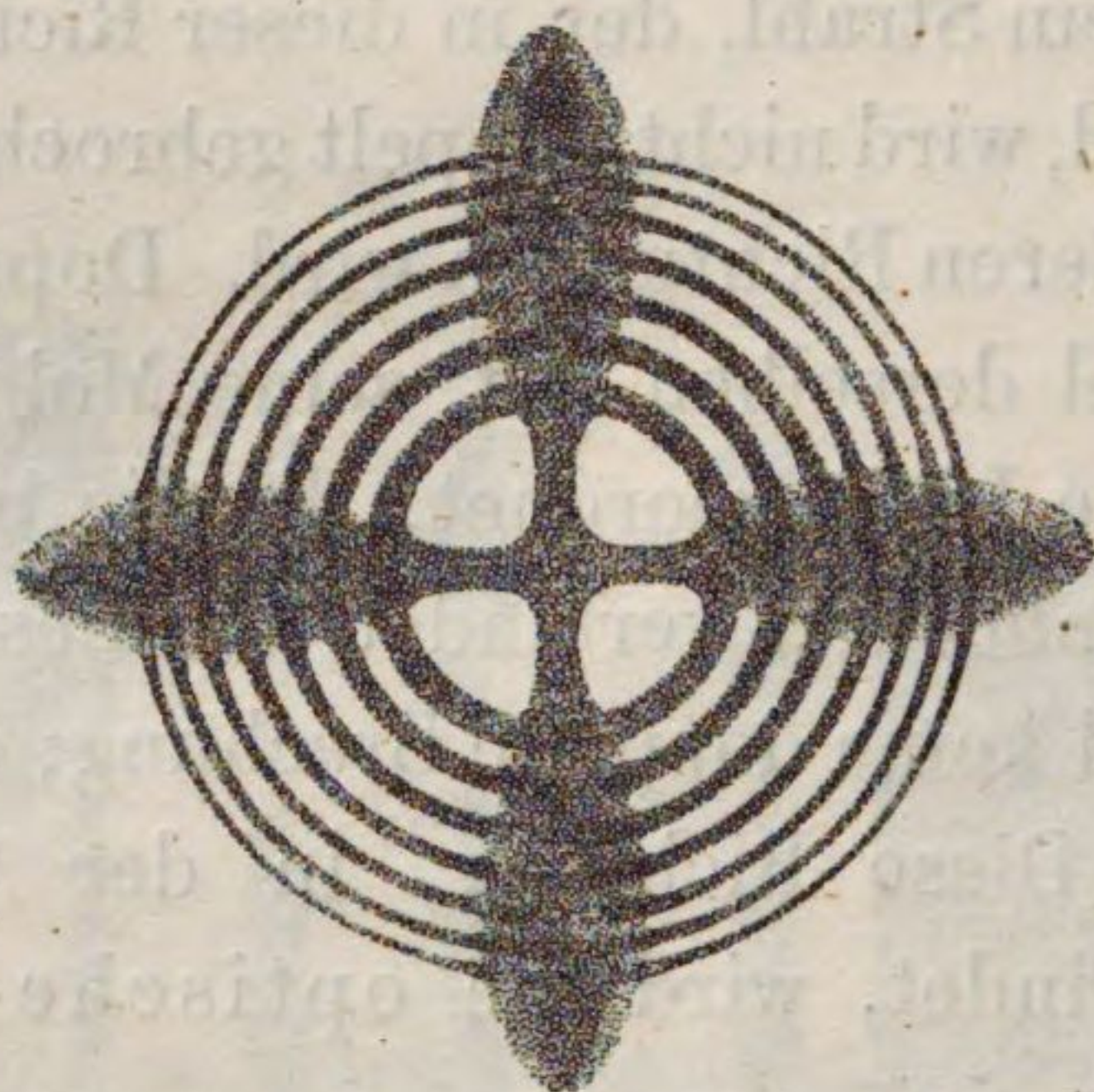
Anordnung setzt Symmetrie in der Anordnung des Aethers voraus; im Gegensatz setzt auch Unsymmetrie der Atome Unsymmetrie des Aethers voraus, und daraus folgt doppelte Brechung. Die Structur einer gewissen Classe von Krystallen ist homogen, und solche Krystalle bewirken keine doppelte Brechung. Bei gewissen anderen Krystallen sind die Moleküle nur um eine gewisse Linie symmetrisch geordnet und nicht um andere. In der Richtung der ersteren ist der Strahl daher ungetheilt, während wir in den anderen Richtungen eine doppelte Brechung haben. Eis ist ein bekanntes Beispiel; seine Moleküle sind mit vollständiger Symmetrie um die auf den Gefrierebenen senkrecht stehenden Linien angeordnet, und ein Strahl, der in dieser Richtung durch das Eis gesandt wird, wird nicht doppelt gebrochen; wogegen er es in allen anderen Richtungen wird. Doppelspath ist ein anderes Beispiel derselben Art; seine Moleküle sind symmetrisch um die Linie geordnet, die die beiden stumpfen Ecken des Rhomboeders verbindet. In dieser Richtung erleidet ein Strahl keine doppelte Brechung; in jeder andern geschieht es. Diese Richtung, in der keine doppelte Brechung stattfindet, wird die optische Axe des Krystalles genannt.

Wird also eine Platte aus einem Doppelspathkrystall senkrecht gegen seine Axe geschnitten, so werden alle Strahlen, die durch diese Platte in der Richtung der Axe gesandt werden, nur ein Bild hervorrufen. Sobald wir aber den Parallelismus mit der Axe verlassen, tritt doppelte Brechung ein. Wird also ein Strahl, der durch eine Sammellinse konisch gemacht ist, so durch den Doppelspath gesandt, dass der mittlere Strahl des Konus in der Richtung der Axe geht, so wird dieser Strahl allein der doppelten Brechung entgehen. Jeder andere wird in einen ordentlichen und in einen ausserordent-

lichen Strahl getheilt werden, von denen sich der eine langsamer durch den Krystall bewegt, als der andere; der eine also im Verhältniss zu dem andern verzögert wird. Hier haben wir also die Bedingungen für die Interferenz, wenn die Wellen durch den Analysator auf eine gemeinsame Ebene zurückgeführt werden.

Stellen wir die Doppelspathplatte zwischen die gekreuzten Nicol'schen Prismen und benutzen den konischen Strahl, so erhalten wir auf dem Schirm ein schönes System von regenbogenfarbigen Ringen, die das Ende der optischen Axe umgeben, während die kreisförmigen Farben-

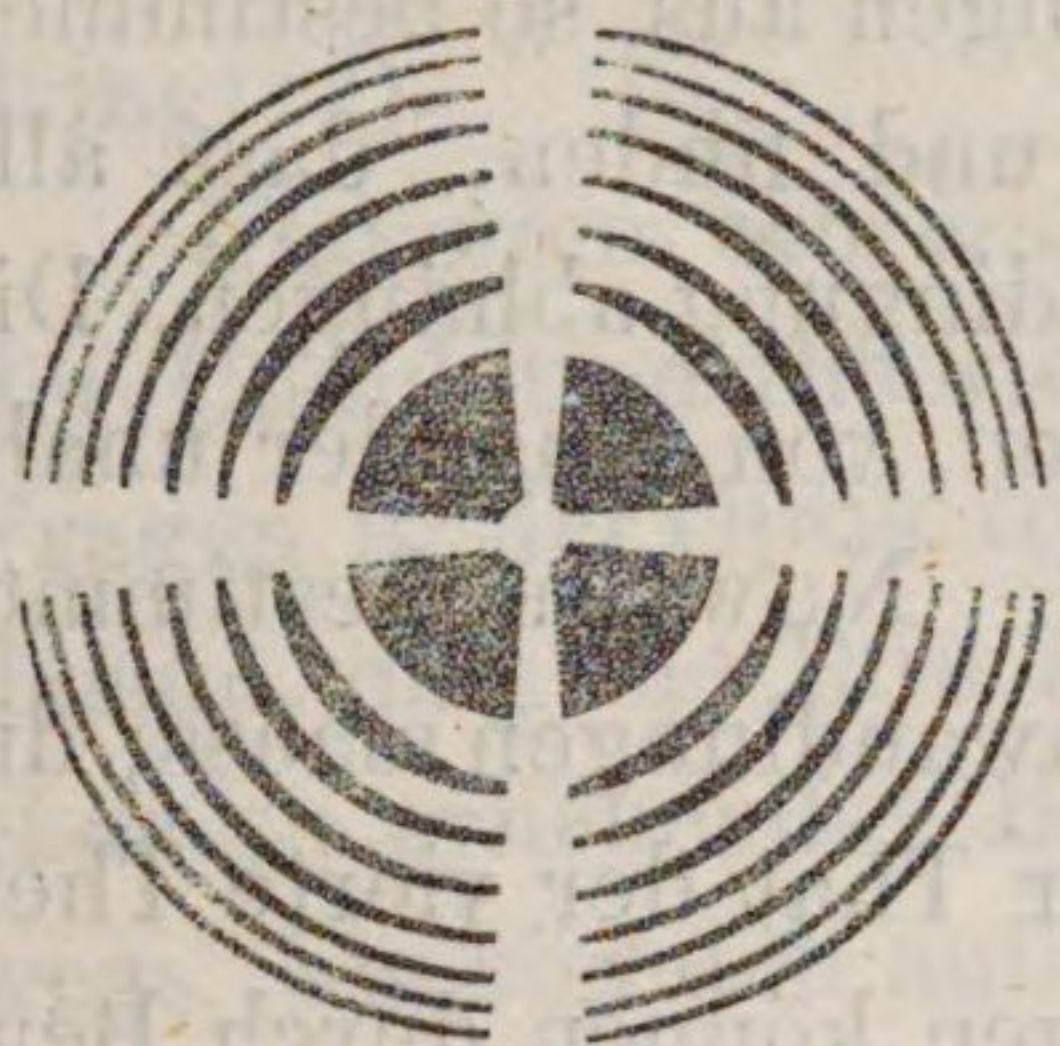
Fig. 48.



bänder von einem schwarzen Kreuz durchschnitten werden (Fig. 48). Die Arme dieses Kreuzes sind den beiden Schwingungsrichtungen im Polarisator und Analysator parallel. Man sieht leicht, dass alle Strahlen, deren Schwingungsebenen im Spath mit der Schwingungsebene eines der Prismen übereinstimmen, nicht durch beide dringen können. Dieses vollständige Auffangen des Lichtes erzeugt die Arme des Kreuzes. Die Ringe würden mit einfarbigem Licht nur hell und schwarz sein; die hellen Ringe erscheinen bei den Dicken des Spathes, bei denen die Strahlen sich addiren; die schwar-

zen Ringe bei den Dicken, bei denen sie sich gegenseitig auslöschen. Drehen wir den Analysator um 90° herum, so erhalten wir die complementären Erscheinungen. Das schwarze Kreuz weicht einem leuchtenden und jeder dunkle Ring wird ebenfalls durch einen leuchtenden ersetzt (Fig. 49). Hier, wie sonst schon, entstehen bei Anwendung

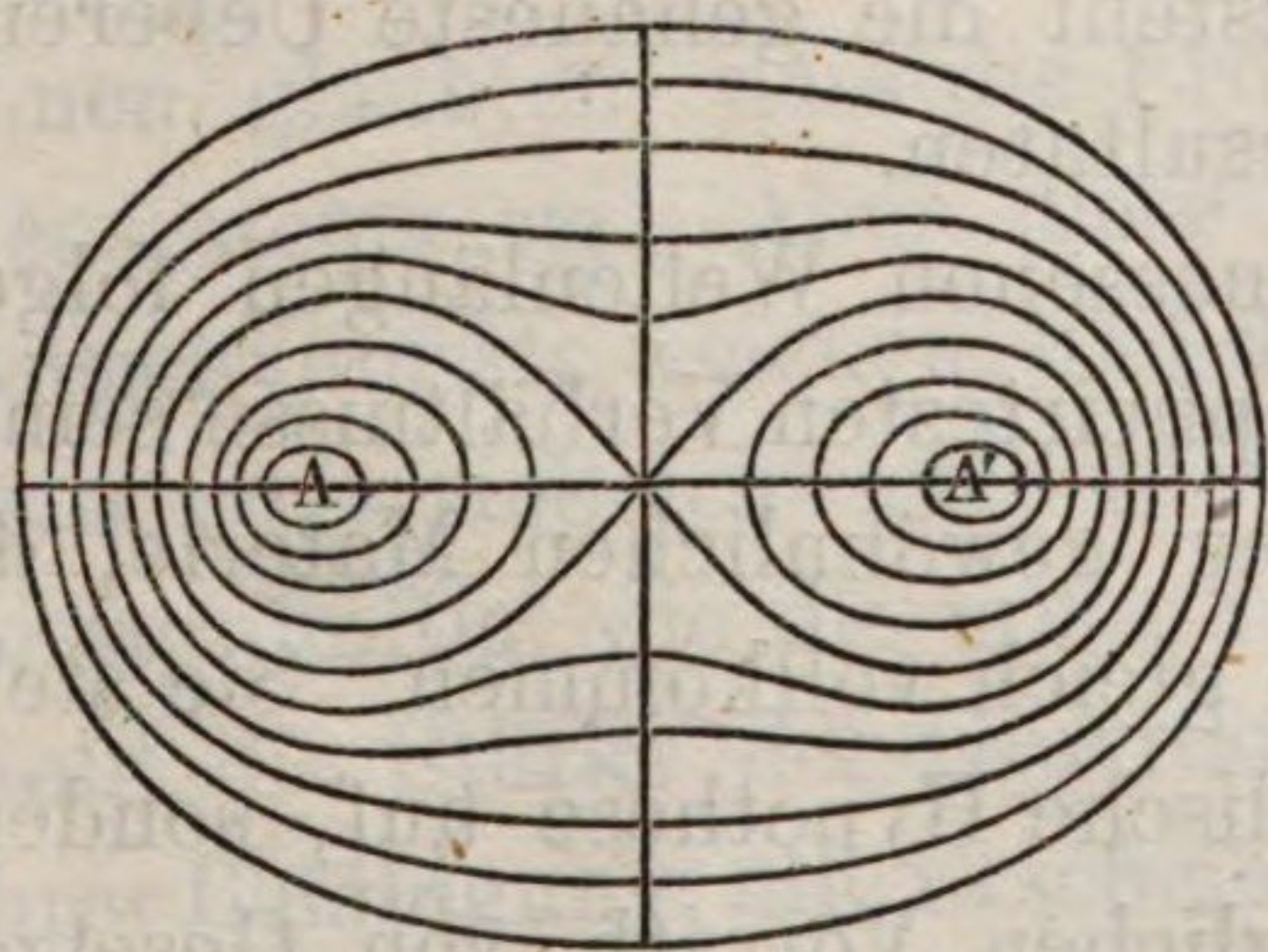
Fig. 49.



von weissem Licht in Folge der verschiedenen Längen der Lichtwellen Regenbogenfarben.

Ausser den regelmässigen Krystallen, die in keiner Richtung doppelte Brechung erzeugen, und den einaxigen Krystallen, die sie in jeder Richtung ausser einer erzeugen, entdeckte Brewster, dass es in einer grossen Classe von Krystallen zwei Richtungen giebt, in denen die doppelte Brechung nicht eintritt. Diese werden zweiaxige Krystalle genannt. Wenn richtig geschnittene Platten dieser Krystalle zwischen den Polarisator und den Analysator gebracht werden, so sieht man, wie die Axen (AA' , Fig. 50) nicht von Kreisen umgeben sind,

Fig. 50.



sondern von Curven einer andern Ordnung, aber von vollkommen bestimmtem mathematischen Charakter. Jeder Streifen bildet eine Lemniscate, wie Herschel durch Versuche bewiesen hat; doch ging hier, wie in unzähligen anderen Fällen, dem experimentellen Beweis die Berechnung voraus, welche zeigte, dass nach der Undula-

tionstheorie die Streifen diesen besondern Charakter haben müssten.

Ich habe so weitläufig über die Polarisation selbst und über die Erscheinungen der Krystalle im polarisirten Licht gesprochen, um Ihnen einen Einblick in die Sicherheit und Vollständigkeit der Theorie zu geben, die sie alle umfasst. Gehen wir von der einfachen Annahme der transversalen Schwingungen aus, so bestimmen wir vor Allem die Wellenlängen und finden, dass alle Farbenerscheinungen von dieser Bedingung abhängen. Die Wellenlänge kann auf verschiedenen, von einander unabhängigen Wegen bestimmt werden. Newton bestimmte sie, indem er die Perioden seiner Anwandlungen maass; die Länge einer Anwandlung ist in der That der vierte Theil einer Undulation. Die Wellenlängen können durch Beugung an den Rändern eines Spaltes (vgl. den Anhang) bestimmt werden; sie können aus den Interferenzfransen abgeleitet werden, die durch Reflexion entstehen; ebenso aus den Franzen, die durch Brechung entstehen; dann können sie auch durch Linien bestimmt werden, die mit einem Diamant in bestimmten Entfernungen auf Glas gezogen sind. Und werden dann die Wellenlängen, die auf so verschiedene Weise bestimmt worden sind, mit einander verglichen, so besteht die genaueste Uebereinstimmung zwischen den Resultaten.

Mit Hülfe der so gemessenen Wellenlängen folgen wir dem Aether in die complicirtesten Verhältnisse seiner Wechselwirkungen mit der gewöhnlichen Materie; die Theorie beherrscht sie alle gleich vollkommen. Sie stellt keine einzige neue physikalische Hypothese auf, sondern leitet aus ihrem ursprünglichen Vorrath von Gesetzen den mathematischen Ausdruck von Allem ab, was die Beobachtung zeigt. Sie begründet, erklärt, vereinfacht die ver-

wickeltsten Fragen, verbessert bekannte, sagt vorher und enthüllt unbekannte Gesetze und Thatsachen, sie wird der Führer ihrer frühern Lehrerin, der Beobachtung; und „geleitet durch mechanische Begriffe, gestattet sie uns einen Einblick, der durch Form und Farbe zu Kraft und Ursache dringt“ ¹⁾.

Und wenn ich mich so bemüht habe, die Bedeutung der Undulationstheorie bei der Lösung aller schwierigen Fragen in der Optik vor Ihnen zu entwickeln, wünsche ich darum, dass Sie Ihre Augen gegen irgend einen dagegen etwa zu erhebenden Beweisgrund verschliessen? Keineswegs. Sie könnten anführen und mit Recht anführen, dass vor ungefähr hundert Jahren eine andere Theorie von den bedeutendsten Männern vertheidigt wurde und dass, wie die damals hochgehaltene Theorie fallen musste, so auch die Undulationstheorie vielleicht einmal fallen müsse. Dies erscheint logisch richtig, doch wollen wir den wirklichen Werth des Einwurfs prüfen. In ähnlicher Weise hätte man zu Zeiten Newton's oder auch selbst in unserer Zeit folgendermaassen schliessen können: Hipparch und Ptolomäus, und viele grosse Männer nach ihnen, glaubten, dass die Erde der Mittelpunkt des Sonnensystems sei. Aber diese tiefgewurzelte theoretische Ansicht musste weichen, und die Gravitationstheorie ihrerseits muss vielleicht auch wieder weichen. Dies ist gerade so vernünftig, wie die erste Schlussfolgerung. Worin besteht die Stärke der Gravitationstheorie? Nur allein in ihrer Befähigung, alle Erscheinungen des Sonnensystems zu erklären. Worin besteht die Stärke der Undulationstheorie? Nur allein in ihrer Befähigung, Erscheinungen, die hundert Mal complicirter sind, als die des Sonnen-

¹⁾ Whewell.

systems, zu entwirren und zu erklären. Wenden Sie, wenn Sie wollen, den Skepticismus des Herrn Mill¹⁾ in Bezug auf die Undulationstheorie an; ist aber Ihr Skepticismus ein wissenschaftlicher, so muss er die Gravitationstheorie ebenso oder noch mehr in Zweifel ziehen²⁾.

Ich möchte nicht gern diese Farbenerscheinungen verlassen, ohne noch von einer Farbenquelle zu sprechen, die mir in der letzten Zeit oft vor die Augen getreten ist, im Blau des amerikanischen Himmels am Mittag und im tiefen Roth des Horizonts nach Sonnenuntergang. Ich will hier zusammenfassen und ausführen, was schon über diesen Gegenstand gesagt worden ist. Man kann mit der grössten Sicherheit nachweisen, dass das blaue Licht des Firmaments reflectirtes Licht ist. Das Licht des Firmaments kommt zu uns quer über die Richtung der Sonnenstrahlen und selbst gegen die Richtung der Sonnenstrahlen; und diese seitliche und entgegengesetzte Strömung der Wellenbewegung kann nur dem Zurückprallen der Wellen von der Luft selbst zugeschrieben werden oder von Theilchen, die in der Luft suspendirt sind. Das Sonnenlicht wird überdies nicht vom Himmel in den Verhältnissen reflectirt, die Weiss erzeugen. Der Himmel ist blau, was ein Ueberwiegen von kleineren Wellen andeutet. Die Bläue der Luft ist als ein Grund für die Bläue des Himmels angegeben worden; doch dann entsteht die Frage: Wenn die Luft blau ist, wie kann

¹⁾ Der uns leider entrissen ist, seit diese Worte geschrieben wurden.

²⁾ Der einzige mir bekannte Versuch über die Undulationstheorie aus der Feder eines amerikanischen Schriftstellers ist eine ausgezeichnete, in dem Smithsonian Report für 1862 publicirte Arbeit des Präsidenten Barnard.

dann das Licht bei Sonnenaufgang und Sonnenuntergang, das durch grosse Luftschichten wandert, gelb, orange oder selbst roth sein? Der Durchgang von weissem Sonnenlicht durch ein blaues Medium kann unmöglich das Licht roth färben; daher ist die Hypothese von der blaugefärbten Luft unhaltbar. Welches das Agens auch sei, das uns das Licht des Himmels sendet, jedenfalls übt es in der That hierbei eine dichroitische Wirkung aus. Das reflectirte Licht ist blau, das durchgelassene Licht ist orange oder roth. So zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen der Reflexion vom Himmel und der von einer gewöhnlichen Wolke, da die letztere keine dichroitische Wirkung ausübt.

Die Wolke nimmt in der That keine Notiz von der Grösse der Aetherwellen, sondern reflectirt sie alle gleichmässig. Nun kann der Grund hiervon sein, dass die Wolkentheilchen im Vergleich zur Grösse der Aetherwellen so gross sind, dass sie sie alle gleichmässig verstreuen. Ein hoher Fels wirft eine Welle des Atlantischen Oceans so leicht zurück, wie eine Kräuselung, die der Flügel eines Seevogels erzeugt, und so mag in der Nähe grosser reflectirender Oberflächen der bestehende Unterschied in der Grösse der Aetherwellen auch verschwinden. Nehmen wir aber an, dass die reflectirenden Theilchen, statt sehr gross zu sein, im Vergleich zur Grösse der Wellen sehr klein seien, dann wird, statt dass die ganze Welle das Hinderniss trifft und zum grossen Theil zurückgeworfen wird, nur ein kleiner Theil durch das Hinderniss zersplittert. Denken Sie nun, diese kleinen fremden Theilchen seien in unserer Atmosphäre zerstreut. Wellen von allen Grössen fallen darauf, und bei jeder Berührung wird ein Theil der darauffallenden Welle zurückgeschleudert. So unterliegen alle Wellen des Spectrums vom äussersten Roth bis zum äussersten Violett dieser Einwirkung; aber in

welchem Verhältniss werden sie zerstreut werden? Grösse ist ein relativer Begriff, und je kleiner die Welle, desto grösser ist die relative Grösse jedes Theilchens, auf das die Welle auffällt, und desto grösser auch im Verhältniss die Reflexion.

Ein kleiner Stein, der in den Weg der kreisförmigen Kräuselungen gelegt wird, die durch das Fallen schwerer Regentropfen auf einem ruhigen Teich erzeugt werden, reflectirt einen grossen Theil jeder daraufstossenden Kräuselung, während der von dem Stein reflectirte Theil einer grössern Welle im Verhältniss zu derselben unendlich klein sein kann. Damit nun das Sonnenlicht weiss bleibt, darf das Verhältniss seiner Bestandtheile nicht geändert werden. Würde aber das Licht durch sehr kleine Theilchen zerstreut, so sehen wir, dass dies Verhältniss geändert wird. Die kleineren Wellen überwiegen, und folglich ist Blau im zerstreuten Licht die vorherrschende Farbe. Die anderen Farben des Spectrums müssen in gewissem Maasse auch mit dem Blau vermischt sein; sie fehlen nicht, aber sie sind mangelhaft vertreten. Sie müssen in der That alle vorhanden sein, aber in immer kleineren Mengen vom Violett zum Roth.

Wir sind so allmählich zu dem Schlusse gelangt, dass, wären in unserer Atmosphäre Theilchen zerstreut, die im Vergleich zur Grösse der Aetherwellen klein wären, das durch diese Theilchen zerstreute Licht genau dasselbe sein müsste, wie das, welches wir in unserm azurblauen Himmel beobachten. Und wirklich, wenn das Licht analysirt wird, so finden wir alle Farben des Spectrums in den durch unsern Schluss angegebenen Verhältnissen darin enthalten.

Durch seine auf einander folgenden Zusammenstösse mit den Theilchen wird das weisse Licht mehr und mehr

seiner kürzeren Wellen beraubt; es verliert daher mehr und mehr sein ihm zukommendes Maass an Blau. Man kann das Resultat voraussagen. Das durchgelassene Licht wird da, wo nur kurze Entfernungen in's Spiel kommen, gelblich erscheinen. Wie aber die Sonne gegen den Horizont sinkt, wächst der Weg des Lichtes durch die Atmosphäre und entsprechend die Zahl der zerstreuen Theilchen. Sie schwächen nach einander das Violett, das Indigo, das Blau, und stören selbst das Verhältniss des Grün. Das durchgelassene Licht muss unter diesen Verhältnissen vom Gelb durch das Orange zum Roth übergehen. Wir finden dies auch genau in der Natur wieder. Während das reflectirte Licht uns um Mittag das tiefe Blau des Himmels der Alpen liefert, bietet uns bei Sonnenuntergang das durchgelassene Licht das warme Purpurroth des Alpenglühens.

Kann man aber in der That beweisen, dass kleine Theilchen auf die angegebene Weise wirken? Ohne Zweifel. Jeder von Ihnen kann diese Frage einer experimentellen Prüfung unterziehen. Wasser löst Harz nicht auf, wohl aber thut es Weingeist, und wird nun Weingeist, in dem Harz aufgelöst worden, in Wasser gegossen, so scheidet sich das Harz augenblicklich in festen Theilchen aus und macht das Wasser milchig. Die Vertheilung dieses Niederschlags hängt von der Menge des aufgelösten Harzes ab. Professor Brücke hat das Verhältniss angegeben, das die für unsern Versuch geeignetsten Theilchen giebt. Ein Gramm von reinem Mastix wird in sieben und achtzig Gramm absolutem Alkohol aufgelöst und die durchsichtige Lösung wird tropfenweise in ein Becherglas voll klarem Wasser gegossen, das schnell umgerührt wird. So erhält man einen ausserordentlich feinen Niederschlag, der sein Dasein durch seine Wirkung auf das Licht anzeigt. Stellen wir eine dunkle Oberfläche

hinter das Gefäss und lassen das Licht von oben oder von vorn hereinfallen, so erscheint das Medium schön himmelblau gefärbt. Eine Spur Seife giebt dem Wasser einen blauen Schein. Die Londoner und, ich fürchte, auch die Liverpoolsche Milch nähert sich derselben Farbe durch die Wirkung derselben Ursache, und Helmholtz hat unbarmherzig die Thatsache enthüllt, dass ein blaues Auge nur ein trübes Medium ist. Doch liegt es in unserer Hand, die natürlichen Bedingungen dieses Problems noch viel genauer nachzuahmen. Wir können in der Luft künstliche Himmel erzeugen und ihre vollkommene Identität mit dem natürlichen in einer Anzahl gänzlich unerwarteter Erscheinungen nachweisen. Man hat kürzlich durch eine grosse Menge von Beispielen bewiesen, dass Aetherwellen, die von einer starken Lichtquelle, wie von der Sonne und dem elektrischen Licht, kommen, fähig sind, die Atome der gasförmigen Moleküle von einander zu trennen. Der hierzu benutzte Apparat besteht aus einer Glasröhre von ungefähr einer Elle Länge und von $2\frac{1}{2}$ bis 3 Zoll innerm Durchmesser. Das Gas oder der Dampf, die untersucht werden sollen, werden in diese Röhre eingeführt, und man lässt den condensirten Strahl der elektrischen Lampe darauf wirken. Der Dampf wird so gewählt, dass wenigstens eines seiner Zersetzungsproducte unmittelbar nach der Bildung als eine Art Wolke niedergeschlagen wird. Indem man die Menge des Dampfes abstuft, kann dieser Niederschlag in beliebiger Feinheit erhalten werden, er kann Theilchen bilden, die dem unbewaffneten Auge sichtbar sind, und Theilchen, die weit jenseits des Bereichs unserer kräftigsten Mikroskope liegen. Ich habe keinen Grund zu bezweifeln, dass wir so Theilchen erhalten könnten, deren Durchmesser nur einen kleinen Bruchtheil der Wellenlänge des violetten Lichtes ausmachen würde.

Nun fängt aber bei allen geeigneten Dämpfen, wenn sie in einem genügend verdünnten Zustand angewendet werden, die sichtbare Wirkung immer mit der Bildung einer blauen Wolke an. Ich möchte mich gleich im Beginn gegen jede Missdeutung bei der Benutzung dieses Ausdrucks verwahren. Die hier besprochene blaue Wolke ist bei gewöhnlichem Tageslicht vollständig unsichtbar. Um sie sichtbar zu machen, muss sie von tiefster Dunkelheit umgeben sein und nur sie allein von einem mächtigen Lichtstrahl erleuchtet werden. Diese Wolke unterscheidet sich in vielen wichtigen Einzelheiten von den leichtesten gewöhnlichen Wolken und kann füglich eine Zwischenstellung zwischen diesen Wolken und wirklichem wolkenlosem Dampf einnehmen.

Man kann die Theilchen dieser actinischen Wolke von einer unendlich kleinen und weit unter dem Bereich des Mikroskops liegenden Grösse bis zur sichtbaren Grösse anwachsen lassen; und durch diese Theilchen können wir, bei einem gewissen Stadium ihrer Grösse, ein Blau erzeugen, das mit dem tiefsten und reinsten italienischen Himmel rivalisirt, wenn es ihn nicht noch übertrifft. Führen wir in unsere Röhre eine kleine Menge eines Gemisches von Luft und Dampf von Butylnitrit ein, die die Quecksilbersäule einer Luftpumpe um das Zwanzigstel eines Zolls niederdrückt, und fügen wir eine Menge von Luft und Salzsäure hinzu, die das Quecksilber noch um einen halben Zoll tiefer niederdrückt, und senden dann durch diese gemischte und sehr verdünnte Atmosphäre den Strahl des elektrischen Lichtes. Allmählich leuchtet in der Röhre ein glänzendes Azurblau auf, das eine Zeitlang zunimmt, ein Maximum von Tiefe und Reinheit erreicht und dann, wenn die Theilchen grösser werden, in ein weissliches Blau übergeht. Es ist dies ein

charakteristischer Versuch, der ein allgemeines Gesetz darlegt. Es können viele andere farblose Substanzen von den verschiedensten optischen und chemischen Eigenschaften zu diesem Versuch verwendet werden. Die beginnende Wolke würde auf jeden Fall dieses leuchtende Blau zeigen und so augenscheinlich beweisen, dass Theilchen von unendlich kleiner Grösse, ohne irgend eine eigene Farbe und unabhängig von den optischen Eigenschaften, die die Substanz im dichtern Zustand zeigt, befähigt sind, die blaue Farbe des Himmels zu erzeugen.

Es ist aber an unserm Firmament noch ein anderes, viel feineres und verborgeneres Phänomen zu beobachten, als selbst seine Farbe. Ich meine „die geheimnissvolle und schöne Erscheinung“, die Polarisation des Himmelslichtes. Sehen wir verschiedene Stellen des blauen Firmaments durch ein Nicol'sches Prisma an und drehen das Prisma um seine Axe, so beobachten wir bald Veränderungen der Helligkeit. In gewissen Stellungen des Prismas und von gewissen Stellen des Firmaments aus scheint das Licht vollkommen durchgelassen zu werden, während man nur das Prisma um seine Axe um einen Winkel von neunzig Grad zu drehen braucht, um die Intensität des Lichtes bedeutend zu vermindern. Versuche dieser Art beweisen, dass das blaue Licht, das uns vom Firmament gesandt wird, polarisirt ist, und bei genauer Untersuchung finden wir auch, dass die Richtung der vollkommensten Polarisation senkrecht gegen die Sonnenstrahlen ist. Wäre das himmlische Blau dem gewöhnlichen Licht der Sonne gleich, so würde die Drehung des Prismas keinen Einfluss auf dasselbe ausüben; es würde während der ganzen Umdrehung des Prismas gleichmässig durchgelassen werden. Das Licht

des Himmels wird zum grossen Theil ausgelöscht, weil es zum grossen Theil polarisirt ist.

Diese selbe Erscheinung wird ebenso vollkommen von unseren actinischen Wolken hervorgerufen; die einzige nothwendige Bedingung zu ihrem Auftreten ist die Kleinheit der Theilchen. In allen Fällen und bei allen Substanzen ist die im Anfang gebildete Wolke, wenn die niedergeschlagenen Theilchen genügend fein sind, blau. In allen Fällen polarisirt überdies diese zarte blaue Wolke vollkommen den Strahl, der sie beleuchtet; die Richtung der Polarisation bildet dabei einen Winkel von 90° mit der Axe des beleuchtenden Strahles.

Ausserordentlich interessant ist es, sowohl das Maximum, wie auch die allmähliche Abnahme dieser Polarisation zu beobachten. Betrachtet man zehn oder fünfzehn Minuten nach dem ersten Auftreten in horizontaler Richtung das Licht von einer lebhaft beleuchteten, beginnenden Wolke, so wird es von einem Nicol'schen Prisma, dessen längere Diagonale vertical steht, vollständig ausgelöscht. Doch wie das Himmelsblau allmählich durch die Einführung von zu grossen Theilchen trübe wird oder mit anderen Worten, wenn wirkliche Wolken sich zu bilden anfangen, beginnt die Polarisation schwächer zu werden; ein Theil des Lichtes geht durch das Prisma in allen seinen Stellungen, wie es beim Himmelslicht auch geschieht. Es ist bemerkenswerth, dass einige Zeit nach dem Aufhören der vollkommenen Polarisation, wenn das Nicol'sche Prisma in der Lage des geringsten Durchganges ist, das restirende Licht, welches hindurchgeht, von prächtigem Blau ist, indem das weissere Licht der Wolke vernichtet wird. Ist die Wolkenbildung dicht genug geworden, um sich der der gewöhnlichen Wolken zu nähern, so hat die Rotation des Nicol'schen Prismas keinen bemerkenswerthen Einfluss

mehr auf die Lichtmenge, die im rechten Winkel zum Strahl ausgegeben wird.

Die Vollkommenheit der Polarisation in einer auf dem beleuchtenden Strahl senkrechten Richtung kann auch durch den folgenden Versuch mit irgend einem passenden Dampf nachgewiesen werden. Ein Nicol'sches Prisma von genügender Grösse, um den ganzen Strahl der elektrischen Lampe aufzunehmen, wurde zwischen die Lampe und die Versuchsröhre gestellt. Ich sendete den durch das Nicol'sche Prisma polarisirten Strahl durch die Röhre, stellte mich davor, so dass mein Auge in einer Horizontalebene mit ihrer Axe war, während mein Assistent die ähnliche Stellung hinter der Röhre einnahm. Die kurze Diagonale des grossen Nicols war zuerst vertical, daher war auch die Schwingungsebene des austretenden Strahles vertical. Als das Licht fortfuhr zu wirken, wurde allmählich eine, sowohl meinem Assistenten, als auch mir sichtbare prächtig blaue Wolke gebildet. Aber diese Wolke, die so tief und reich gefärbt erschien, wenn sie aus den angegebenen Stellungen beobachtet wurde, verschwand ganz, wenn man sie vertical von oben oder von unten ansah. Eine Reflexion von der Wolke nach diesen Richtungen war nicht möglich. Wurde das grosse Nicol'sche Prisma langsam um seine Axe gedreht, und war das Auge des Beobachters im Niveau des Strahles, die Sehlinie aber senkrecht zu demselben, so trat eine vollständige Auslöschung des horizontal ausgestrahlten Lichtes ein, wenn die längere Diagonale des grossen Nicols vertical stand. Jetzt sah man aber eine lebhaft blaugefärbte Wolke, wenn man von oben oder von unten hineinblickte. Zu diesem wirklich schönen Versuch, den ich sicherlich auch ohne eine besondere Anregung gemacht haben würde, wurde ich durch eine

briefliche Mittheilung des Herrn Prof. Stokes veranlasst, der ihn als eine sichere Thatsache erwähnte.

Alle Farben- und Polarisationserscheinungen, die man beim Himmelslicht beobachten kann, ergeben sich auch bei diesen actinischen Wolken; und sie zeigen noch andere Erscheinungen, die am wirklichen Firmament schwer zu verfolgen, vielleicht unmöglich zu entdecken wären. Sie ermöglichen es uns, z. B. der Polarisation von ihrer ersten Erscheinung auf dem kaum sichtbaren Blau bis zu ihrer endlichen Vernichtung in der dichtern Wolke zu folgen. Diese Veränderungen können wir, so weit es jetzt für uns von Interesse ist, folgendermaassen zusammenfassen:

1. Die actinische Wolke sendet polarisirtes Licht nach allen Richtungen aus, so lange sie blau bleibt, doch ist die Richtung der stärksten Polarisation, gleich der des Himmelslichtes, senkrecht zur Richtung des beleuchtenden Strahles.

2. So lange die Wolke deutlich blau bleibt, ist das Licht, das von ihr im rechten Winkel zum beleuchtenden Strahle ausgestrahlt wird, vollständig polarisirt. Es kann durch ein Nicol'sches Prisma vollständig ausgelöscht werden, und die Wolke, von der es ausgeht, verschwindet dabei. Bei jeder Abweichung von der senkrechten Richtung kann ein Theil des Lichtes durch das Prisma hindurchgehen.

3. Die Richtung der Schwingungen des polarisirten Lichtes ist senkrecht zu dem erleuchtenden Strahl. Daher fängt eine Turmalinplatte, deren Axe auf dem Strahl senkrecht ist, das Licht auf und lässt, wenn ihre Axe dem Strahl parallel ist, das Licht hindurch.

4. Eine Gypsplatte zwischen dem Nicol'schen Prisma und der actinischen Wolke zeigt die Farben des polari-

sirten Lichtes; in der That spielt die Wolke selbst die Rolle eines polarisirenden Nicols.

5. Die Theilchen der blauen Wolke sind unmessbar klein, aber ihre Grösse wächst allmählich, und bei einer bestimmten Periode ihres Wachsens hören sie auf, vollkommen polarisirtes Licht auszugeben. Einige Zeit nachher ist das Licht, welches das Auge durch das Nicol erreicht, prächtig blau und übertrifft an Tiefe und Reinheit weitaus das des blauen Himmels. So sind die Wellen, welche zuerst den Einfluss der Grösse empfinden, an beiden Grenzen der Polarisation die kürzesten Wellen des Spectrums. Diese nehmen zuerst die Polarisation an und entziehen sich derselben zuerst.

Fünfte Vorlesung.

Das Auge kann nicht alle Strahlen sehen. — Die ultravioletten Strahlen. — Fluorescenz. — Unsichtbare Strahlen sichtbar zu machen. — Das Sehen nicht der einzige Sinn, den der Sonnen- und der elektrische Strahl erregt. — Wärme des Strahles. — Verbrennung durch den ganzen Strahl im Brennpunkt der Spiegel und Linsen. — Verbrennung durch Eislinen. — Entzündung des Diamanten. — Aufsuchung der hier wirksamen Strahlen. — Sir William Herschel's Entdeckung der dunkeln Sonnenstrahlen. — Die unsichtbaren Strahlen die Basis der sichtbaren. — Trennung der unsichtbaren Strahlen von den sichtbaren durch ein Strahlenfiltrum. — Verbrennung im dunkeln Brennpunkte. — Verwandlung von Wärmestrahlen in Lichtstrahlen. — Calorescenz. — Die Rolle der dunkeln Strahlen in der Natur. — Identität des Lichtes und der strahlenden Wärme. — Unsichtbare Bilder. — Reflexion, Brechung, lineare Polarisation, Depolarisation, kreisförmige Polarisation, doppelte Brechung und Magnetisirung der strahlenden Wärme.

Die erste Frage, die wir heute Abend zu besprechen haben, ist die folgende: Ist das Auge, als Organ des Sehens, fähig, die ganze Fülle der Sonnenausstrahlung zu erfassen — ist es ihm möglich, sichtbare Eindrücke von allen Strahlen, die die Sonne ausgiebt, aufzunehmen? Die Antwort ist eine verneinende. Wollten wir uns erlauben, uns für einen Augenblick den Begriff des allmäh-

lichen Wachsens, Verbesserns und Aufsteigens anzueignen, der im Worte „Evolution“ liegt, so könnten wir ruhig schliessen, dass noch grosse Vorräthe von sichtbaren Eindrücken den Menschen erwarten, weit grössere als diejenigen, die er jetzt besitzt. Ritter entdeckte z. B. im Jahre 1801, dass jenseits des äussersten Violett im Spectrum noch eine grosse Menge von Strahlen läge, die für unsere jetzigen Sehkräfte vollkommen nutzlos sind. Diese ultravioletten Wellen können indess, obgleich sie nicht befähigt sind, den optischen Nerven zu reizen, die Moleküle bestimmter zusammengesetzter Substanzen, auf die sie stossen, so durch einander schütteln, dass sie ihre Zersetzung bewirken.

Aber obgleich die blauen, violetten und ultravioletten Strahlen in dieser Art auf gewisse Substanzen wirken, so ist diese Thatsache doch kaum genügend, sie als „chemische Strahlen“ von den anderen Bestandtheilen des Spectrums zu unterscheiden. In ihrer Wirkung auf Silbersalze und viele andere Substanzen — z. B. auf die bei der Bildung der im vorigen Capitel beschriebenen actinischen Wellen betheiligten — verdienen sie vielleicht diesen Namen; aber in dem grossartigsten Beispiele der chemischen Wirkung des Lichtes, in der Zersetzung der Kohlensäure in den Pflanzenblättern, an die sich der Name meines ausgezeichneten Freundes Dr. Draper für immer knüpft, erwiesen sich die gelben Strahlen als die wirksamsten.

Auf einige Substanzen wirken indess die violetten und ultravioletten Wellen besonders stark zersetzend, und lässt man das unsichtbare Spectrum auf Oberflächen fallen, die mit solchen Substanzen präparirt sind, so können wir sowohl die Existenz, als auch die Ausdehnung des ultravioletten Spectrums nachweisen.

Die Methode, um die Existenz der ultravioletten Strahlen durch ihre chemische Wirkung darzuthun, ist lange bekannt; in der That photographirte Thomas Young die ultravioletten Newton'schen Ringe. Wir wollen jetzt ihre Anwesenheit in anderer Art nachweisen. Es ist eine allgemeine Regel, dass Körper Licht absorbiren oder hindurchlassen; indess giebt es noch einen dritten Fall, wo das auf einen Körper fallende Licht weder absorhirt noch hindurchgelassen, sondern in Licht von einer andern Art verwandelt wird. Professor Stokes, der jetzt den früher von Newton an der Universität Cambridge innegehabten Lehrstuhl einnimmt, hat diese Umwandlung der einen Art des Lichtes in die andere nachgewiesen und seine Experimente so weit fortgeführt, dass er die unsichtbaren Strahlen sichtbar machte.

Stokes hat eine grosse Zahl von Substanzen untersucht, die bei ihrer Erregung durch die ultravioletten Strahlen Licht aussenden. Sie kennen die Schwingungszahl der dem äussersten Violett des Spectrums entsprechenden Wellen; Sie wissen, dass, um den Eindruck dieser Farbe hervorzurufen, die Retina in einer Secunde 789 Billionen Mal von den Lichtschwingungen getroffen werden muss. Von diesem Punkte an hört die Retina auf, ein nützliches Organ für das Sehen zu sein, denn schneller wiederkehrende Schwingungen, die auf sie fallen, sind unfähig, das Gefühl des Lichtes zu erzeugen. Aber wenn solche nicht sichtbaren Wellen auf die Moleküle gewisser Substanzen fallen, z. B. auf schwefelsaures Chinin, so zwingen sie diese Moleküle oder ihre Atome, zu schwingen; und es ist eigenthümlich, dass die so erzeugten Schwingungen eine langsamere Periode, als die erregenden Wellen, besitzen. In Folge dieser Erniedrigung der Schwingungszahl durch die Ver-

mittelung des schwefelsauren Chinins werden die unsichtbaren Strahlen in das Bereich unseres Sehens gebracht. Wir werden später reichliche Gelegenheit haben zu erfahren, dass Durchlässigkeit für die sichtbaren Strahlen keineswegs Durchlässigkeit für die unsichtbaren Strahlen mit sich bringt. Schwefelkohlenstoff z. B., der in den Prismen so sehr geeignet für Versuche mit den sichtbaren Strahlen ist, ist keineswegs ebenso geeignet für diese ultravioletten Strahlen. Flintglas eignet sich besser, noch besser Bergkrystall. Für unsere gegenwärtigen Zwecke wird indess ein Glasprisma genügen.

Werfen wir mittelst eines solchen Prismas ein Spectrum, nicht auf die weisse Oberfläche des Schirmes, sondern auf ein Blatt Papier, welches mit einer gesättigten Auflösung von schwefelsaurem Chinin benetzt und nachher getrocknet ist, so zeigt sich deutlich die Ausdehnung des Spectrums. Wir sehen zuerst einen Theil des Violett heller und glänzender, aber neben demselben sehen wir noch das Aufleuchten von Farbe, wo sonst auf nicht präparirtem Papiere nichts zu sehen ist. Andere Substanzen bringen eine ähnliche Wirkung hervor, und eine neuerdings vom Präsidenten Morton entdeckte Substanz, das Thallen, verursacht eine sehr auffallende Verlängerung des Spectrums; das neu erzeugte Licht ist besonders glänzend.

Flussspath und einige andere Substanzen senden Licht aus, wenn sie noch nicht bis zum Rothglühen erhitzt sind. Jahrhunderte hindurch seit ihrer Bildung scheinen diese Substanzen die Fähigkeit, den Aether in sichtbares Erzittern zu versetzen, besessen zu haben. Das Licht war in ihnen während dieser ganzen Zeit latent (potentiell); indess vermag, wie Draper es so gut erklärt hat, die Wärme, selbst wenn ihre Intensität

zu gering ist, um sich dem Auge zu offenbaren, die Moleküle von einander zu lösen, so dass sie die ihnen eigenthümliche Fähigkeit zu schwingen auch wirklich ausüben. Dieses Verhalten des Flussspathes bestimmte Stokes seiner grossen Entdeckung, die ultravioletten Strahlen sichtbar zu machen, den Namen *Fluorescenz* zu geben.

Mittelst eines dunkel violett gefärbten Glases schneiden wir fast alles Licht von unserm elektrischen Strahle ab; indess ist dieses Glas für die violetten und ultravioletten Strahlen besonders durchlässig. Der violette Strahl geht jetzt durch einen grossen Trog voll Wasser. Ich giesse in dasselbe eine Lösung von schwefelsaurem Chinin; sogleich scheinen dunkle Wolken niederzuwallen. Stückchen von Rosskastanienrinde, die auf das Wasser geworfen werden, senden ebenfalls schöne, wolkenartige Streifen hinab. Aber dies sind keine Wolken; es ist nichts niedergeschlagen: die beobachtete Wirkung ist eine Wirkung der Moleküle, nicht der suspendirten Theilchen. Das Mittel vor Ihnen ist nicht trübe, denn wenn Sie durch dasselbe gegen eine helle Fläche sehen, so erscheint es vollkommen klar.

Zeichnen wir auf ein Stück Papier eine Blume oder ein Bouquet mit schwefelsaurem Chinin und setzen es dem vollen Strahle der elektrischen Lampe aus, so bemerken wir kaum etwas. Bringen wir aber das violette Glas dazwischen, so leuchtet die Zeichnung sofort in starkem Contrast zu dem dunkeln umgebenden Violett auf. Hier ist ein anderes sehr schönes Beispiel, eine Zeichnung, welche Herr Präsident Morton für mich mit seinem Thallen entworfen hat; in dem violetten Lichte zeigt sie eine besonders glänzende Fluorescenz. Nach den Versuchen des Dr. Bence Jones möchte es scheinen,

als wenn auch im menschlichen Körper eine dem schwefelsauren Chinin ähnliche Substanz enthalten wäre, durch welche alle Gewebe des Körpers mehr oder weniger fluoresciren. Die Krystalllinse des Auges zeigt diese Wirkung in sehr auffallendem Grade. Bringe ich z. B. mein Auge in diesen violetten Strahl, so bemerke ich einen blauweissen Schimmer, der den Raum vor mir erfüllt. Dieser Schimmer rührt von dem im Auge selbst erzeugten Fluorescenzlicht her. Sieht man die Krystalllinse von aussen an, so leuchtet sie zu gleicher Zeit lebhaft auf.

Lange ehe die physikalische Natur dieses Fluorescenzlichtes ergründet war, zog dasselbe die Aufmerksamkeit auf sich. Boyle, wie Sir Charles Wheatstone so freundlich war mir mitzutheilen, beschreibt es mit grosser Ausführlichkeit und Genauigkeit. „Wir haben zuweilen“, sagt er, „in dem Laden unserer Droguisten eine gewisse Holzart gefunden, welche *Lignum Nephriticum* genannt wird, weil die Bewohner des Landes, wo es wächst, eine Infusion desselben in reinem Wasser gegen Nierensteine gebrauchen. Mit diesem Holz können wir einen Versuch anstellen, der neben seiner Eigenthümlichkeit einem aufmerksamen Beobachter bei der Ergründung der Natur der Farben besonders behülflich sein kann. Man nehme *Lignum nephriticum* und schneide es mit einem Messer in dünne Spähne; man bringe etwa eine Hand voll von diesen Spähnen in 2 oder 3 oder 4 Pfund ganz reinen Quellwassers. Man decantire dieses imprägnirte Wasser in eine Glasflasche. Hält man dann die Flasche zwischen das Licht und das Auge, so erscheint sie mit einer beinahe goldgrünen Farbe gefärbt. Hält man aber die Flasche vom Lichte abgewendet, so dass sich das Auge zwischem dem Fenster und der Flasche befindet, so erscheint die Flüssigkeit tief und schön bläulich gefärbt.“

„Diese und ähnliche, bei diesem schönen Experimente von mir beobachtete Phänomene, „fährt er fort,“ sind auch von einigen meiner Freunde nicht ohne einiges Staunen gesehen worden, und ich erinnere mich, wie ein vortrefflicher Augenarzt, der zufällig in dem Zimmer eines Freundes eine Flasche voll von dieser Flüssigkeit fand, welche ich dem Freunde gegeben hatte, und der nie etwas von dem Versuche gehört hatte, und dem auch Niemand sagen konnte, was diese seltsame Flüssigkeit wäre, längere Zeit fürchtete, wie er mir nachher sagte, dass ein neues seltsames Leiden sich seiner Augen bemächtigt hätte. Und ich gestehe, dass die Ungewöhnlichkeit des Phänomens mich sehr begierig machte, den Grund dieses Experimentes aufzufinden; und obgleich ich weit entfernt bin zu behaupten, dass ich ihn gefunden, glaube ich doch, dass meine Untersuchungen solche Andeutungen geben, dass sie einem höher begabten Geiste zu der Entdeckung der Ursache dieses Wunders führen können ¹⁾.“

Göthe ²⁾ beschreibt in seiner „Farbenlehre“ folgendermaassen die Fluorescenz von Rosskastanienrinde. — Man nehme einen Streifen frischer Rinde von der Rosskastanie und stelle denselben in ein Glas Wasser, und in kürzester Zeit werden wir das vollkommenste Himmelblau entstehen sehen da, wo das von vorn erleuchtete Glas auf dunkeln Grund gestellt ist, hingegen das schönste Gelb, wenn wir es gegen das Licht halten.

Sir John Herschel beobachtete und beschrieb zuerst die Fluorescenz von schwefelsaurem Chinin und

¹⁾ Boyle's Werke, engl. Ausgabe von Birch. Vol. 1, p. 729 u. 730. — ²⁾ Göthe's sämtliche Werke. Ausgabe in 40 Bänden. 1840. Bd. 40, S. 28. Nachträge zur Farbenlehre Nr. 10.

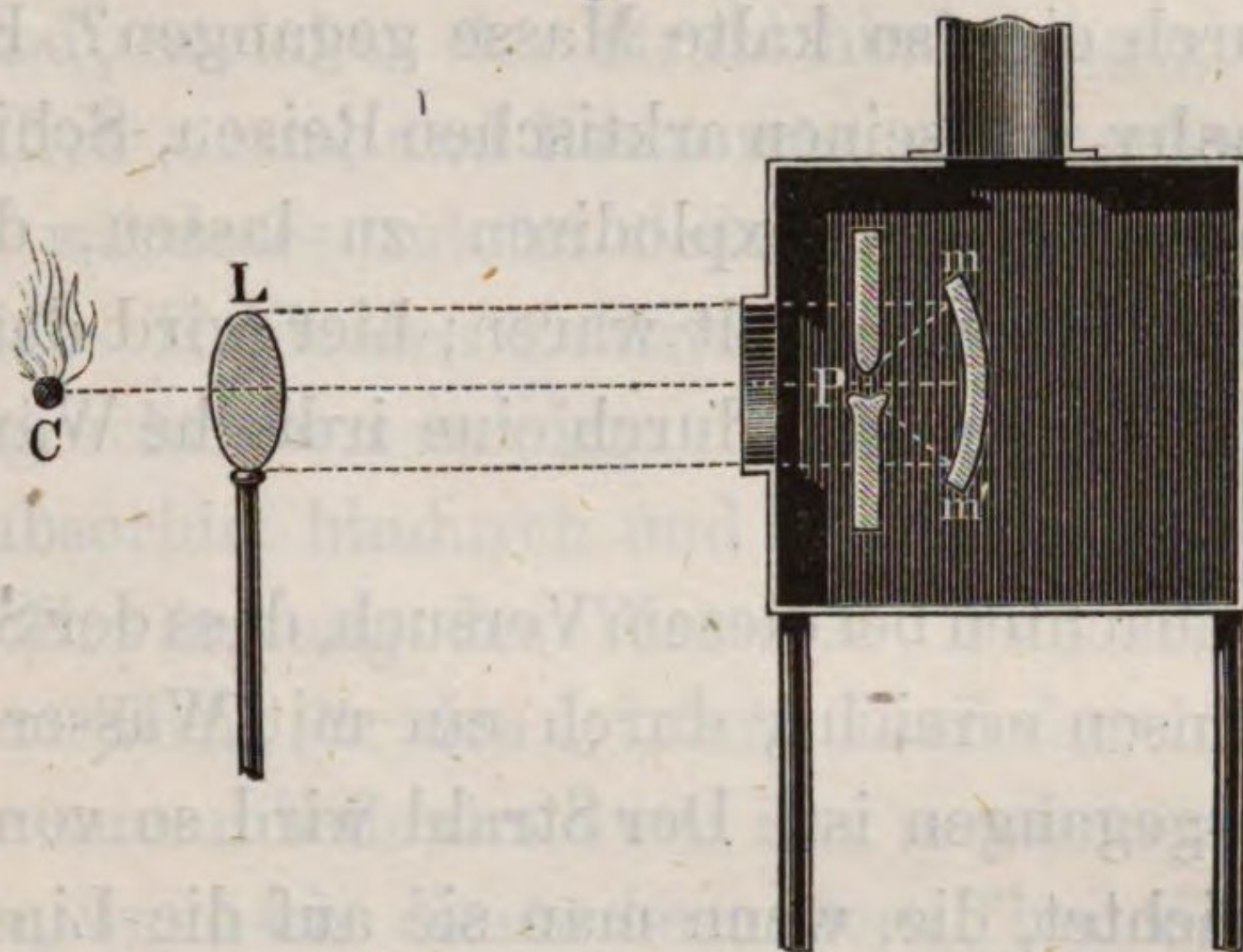
zeigte, dass das Licht von einer dünnen Schicht der Lösung ausging, die der Eintrittsstelle des Lichtes zunächst lag. Er zeigte ausserdem, dass der einfallende Strahl, obgleich er nicht in seiner leuchtenden Kraft bemerkenswerth geschwächt war, doch die Kraft verloren hat, das blaue fluorescirende Licht bei dem Durchgange durch die Chininlösung zu erzeugen. Sir David Brewster arbeitete ebenfalls über diesen Gegenstand; doch verdanken wir Stokes nicht nur ein weiter gehendes Studium, sondern auch eine vollständige und endgültige Erklärung desselben.

Doch wirken die Wellen unserer weissglühenden Kohlenspitzen noch auf einen andern Sinn, als den des Gesichts. Sie erzeugen nicht nur Licht, sondern auch Wärme als eine Empfindung. Das vergrösserte Bild der Kohlenspitzen ist jetzt auf dem Schirme; und mit einem zweckmässigen Instrumente könnte man die erwärmende Kraft der Strahlen nachweisen, die das Bild erzeugen. Doch ist in diesem Falle die Wärme über eine zu grosse Fläche ausgebreitet, um intensiv zu sein. Stellen wir die Linsen weiter hinaus und nähern wir einen beweglichen Schirm unserer Lampe, so sehen wir, wie das Bild kleiner und kleiner wird; zu gleicher Zeit concentriren sich die Strahlen, bis es ihnen endlich möglich wird, in schwarzes Papier einen Ring zu brennen. Machen wir die Strahlen parallel und fangen sie auf einem Hohlspiegel auf, so werden sie in einem Brennpunkt vereint, und Papier, das in denselben gebracht wird, raucht und brennt. Man kann dies Experiment mit unserer gewöhnlichen Camera und unseren Linsen, sowie mit Hülfe eines ziemlich kleinen Hohlspiegels ausführen.

Wir wollen stärkere Mittel bei der Ausstrahlung der elektrischen Lampe anwenden. In diese grössere Camera von geschwärztem Zinn ist eine Lampe gestellt, die in

allen Einzelheiten der schon benutzten ähnlich ist. Doch, statt die Strahlen der Kohlenspitzen mit einer Sammellinse aufzufangen, fangen wir sie jetzt durch einen Hohlspiegel mm' (Fig. 51) auf, der vorn versilbert und hinter die Kohlenspitzen (P) gestellt ist. Mittelst dieses Spiegels können wir die Strahlen nöthigen, durch die Oeff-

Fig. 51.



nung vorn in der Camera auszustrahlen, sei es parallel oder convergirend. Jetzt sind sie parallel, und daher bis zu einem gewissen Grad zerstreut. Wir stellen eine convexe Linse (L) in den Weg des Strahles; das Licht läuft in einen Brennpunkt (C) zusammen und in diesem Focus wird Papier nicht nur durchbohrt und darin ein brennender Ring gebildet, sondern dasselbe sogleich entflammt.

Auf diese Art können viele Metalle verbrannt werden. In unserer ersten Vorlesung erwähnten wir die Brennbarkeit des Zinks. Stellen wir einen Streifen Zinkblech in diesen Brennpunkt, so wird es sogleich entzündet und brennt mit seiner eigenthümlichen purpurrothen Flamme. Und nun will ich statt unserer Glaslinse (L) eine ganz besondere Linse einfügen. Diese Linse von durchsichtigem Eis ist in einer glatten eisernen Schale geformt worden. Stelle ich sie an den Ort, den bis jetzt

die Glaslinse eingenommen hatte, so kann ich sehen, wie der Strahl in einem eng begrenzten kleinen Brennraum vereint wird. In diesen Brennraum stelle ich ein Stückchen schwarzes Papier, in das ein wenig Schiessbaumwolle eingewickelt ist. Das Papier entzündet sich sogleich und die Baumwolle explodirt. Ist es nicht merkwürdig, dass der Strahl eine so starke erwärmende Kraft besitzt, nachdem er durch eine so kalte Masse gegangen? Es gelang Dr. Scoresby auf seinen arktischen Reisen, Schiesspulver durch Sonnenstrahlen explodiren zu lassen, die durch grosse Eislinsen gesammelt waren; hier wird das Resultat durch kleine Linsen und durch eine irdische Wärmequelle erzielt.

Sie beobachten bei diesem Versuch, dass der Strahl, ehe er die Eislinsen erreicht, durch ein mit Wasser gefülltes Glasgefäss gegangen ist. Der Strahl wird so von Bestandtheilen gesichtet, die, wenn man sie auf die Linsen fallen liesse, ihre Oberfläche verletzen, und dadurch das Bild im Brennpunkt trüben würden. Und dies veranlasst mich, im Voraus schon ein Wort über die Durchsichtigkeit zu sagen. In unserer ersten Vorlesung beschäftigten wir uns ausführlich mit der Erzeugung der Farben durch Absorption und sprachen wiederholt über das Auslöschen der Lichtstrahlen. Sollte das heissen, dass das Licht vollständig vernichtet würde? Keineswegs. Es wurde nur in seiner Brechbarkeit so geschwächt, dass es unseren Sehorganen entging. Es wurde in Wärme verwandelt. Unser rothes Band im Grün des Spectrums löschte das Grün aus, doch würden wir bei genauer Untersuchung seine Temperatur gesteigert gefunden haben. Unser grünes Band im Roth des Spectrums löschte das Roth aus, doch wurde seine Temperatur zu gleicher Zeit dem ausgelöschten Licht genau entsprechend erhöht. Unser schwarzes Band ver-

mochte, wenn es durch das Spectrum gezogen wurde, alle seine Farben auszulöschen; doch wurde in jedem Stadium seines Fortschreitens eine Wärmemenge im Bande erzeugt, die genau dem Verlust an Licht entsprach. Nur wenn Absorption eintritt, kann Wärme so erzeugt werden; und Wärme ist immer ein Resultat von Absorption.

Untersuchen Sie jetzt dieses Wasser, das vor der Lampe stand, nachdem der Strahl hindurchgegangen ist: es ist merklich warm, und liesse man es lange genug dort stehen, so würde es zuletzt siedend. Dies muss der Absorption eines Theils des elektrischen Strahles durch das Wasser zugeschrieben werden. Doch geht eine gewisse Menge unabsorbirt hindurch und beeinflusst auf keinerlei Weise die Erwärmung des Wassers. Nun ist auch Eis zum grossen Theil für den letztern Theil durchlässig und wird daher nur unbedeutend von ihm geschmolzen; daher können wir, wenn wir diesen besondern Theil des Strahles anwenden, unsere Linsen intact behalten und einen scharfgezeichneten Brennpunkt bekommen ¹⁾.

Weisses Papier wird in diesem Brennpunkt nicht entzündet, weil es die Strahlen, die durch die Eislinsen hindurchgehen, nicht absorbiren kann. Dagegen brennt schwarzes Papier an dieser Stelle augenblicklich, weil es das Licht absorbirt, das ohne Absorption durch die Eislinsen gegangen ist. Wir können diesen Nachweisen der Wärmewirkung noch die Verbrennung des Diamantes im Sauer-

¹⁾ Als der Komet von 1860 der Sonne am nächsten stand, war er nur um ein Sechstel des Sonnendurchmessers von ihrer Oberfläche entfernt. Newton schätzte seine dortige Temperatur auf mehr als das zweitausendfache von der des geschmolzenen Eisens. Indess ist zu beachten, dass die Temperatur des Kometen nicht von der Sonnennähe abgeleitet werden kann. Wäre sein Absorptionsvermögen genügend gering, so könnte der Komet die Temperatur des Sternenraumes in die Sonnennähe bringen.

stoff durch den concentrirten Strahl der elektrischen Lampe beifügen.

In den Weg des von unserer Lampe kommenden Strahles ist ein Trog mit Glaswänden voll Alaunlösung gestellt. Alles Licht des Strahles geht durch diese Lösung hindurch. Dieses Licht fällt auf einen grossen, vorn versilberten Brennspiegel und wird im Brennpunkt desselben vereint. Sie sehen den conischen Strahl des reflectirten Lichtes, wie er sich auf dem Staub im Saale abzeichnet. Ein Stück weisses Papier, welches in den Brennpunkt gebracht wird, leuchtet mit blendendem Glanze, aber es wird nicht einmal angesengt. Wird aber die Alaunzelle entfernt, so entflammt das Papier sogleich. Es muss also in diesem Strahl noch etwas anderes sein, als sein Licht. Das Licht wird vom weissen Papier nicht absorbirt und entzündet es daher auch nicht. Es ist aber noch etwas neben und ausser dem Lichte vorhanden, was absorbirt wird, und die Verbrennung hervorruft. Was ist dieses Etwas?

Im Jahre 1800 führte Sir William Herschel ein Thermometer durch die verschiedenen Farben des Sonnenspectrums und beobachtete die einer jeden entsprechende Temperaturerhöhung. Er beobachtete, dass die Wärmewirkung vom Violett bis zum Roth stieg. Er hielt indess nicht beim Roth an, sondern brachte sein Thermometer auch bis in den dunklen Raum jenseits desselben. Hier fand er die Temperaturerhöhung noch bedeutender, als in irgend einem Theile des sichtbaren Spectrums. Durch diese wichtige Beobachtung bewies er, dass die Sonne dunkle Wärmestrahlen aussendet, welche für die Zwecke des Gesichtssinnes ganz ungeeignet sind. Derselbe Gegenstand wurde nachher von Seebeck, Melloni, Müller und Anderen bearbeitet, und bis in die letzten Jahre gewann

er an unerwarteter Ausdehnung und Bedeutung. Man hat eine Methode erfunden, durch welche die Strahlen der Sonne oder der elektrischen Lampe so filtrirt werden können, dass die ultraroth Strahlung ganz von denselben getrennt und unversehrt bewahrt wird, während die sichtbaren und ultravioletten Strahlen völlig aufgefangen werden. So können wir nach Belieben mit den reinen ultraroth Wellen experimentiren.

Erhitzt man feste Körper zum Weissglühen, so ist diese nicht sichtbare Strahlung die nothwendige Grundlage für die sichtbare. Ein Platindraht ist vor dem Tisch ausgespannt und ein galvanischer Strom hindurchgeleitet. Er wird durch den Strom erwärmt, wie man mit der Hand fühlen kann; er sendet auch Wärmewellen, aber kein Licht aus. Wird die Stromstärke gesteigert, so wird der Draht heisser; er glüht endlich mit dunkelrothem Licht. An dieser Stelle begann Dr. Draper vor vielen Jahren eine interessante Untersuchung. Er verwendete den galvanischen Strom, um seinen Platindraht zu erhitzen und untersuchte mittelst eines Prismas das aufeinander folgende Auftreten der Farben des Spectrums. Die erste Farbe war, wie hier, das Roth, dann kam Orange, dann Gelb, dann Grün und zuletzt kamen alle verschiedenen Nüancen des Blau. So wie die Temperatur des Platins allmählich stieg, wurden die Atome in schnellere Schwingungen versetzt; kürzere Wellen wurden so erzeugt, bis endlich Wellen entstanden, die dem ganzen Spectrum entsprachen. Während jede folgende Farbe auftrat, wurden die vorhergehenden Farben heller. Nun hängt die Lebhaftigkeit oder Intensität des Lichtes, wie die des Schalles, nicht von der Länge der Wellen, sondern der Weite der Schwingungen ab. Daher müssen wir schliessen, da mit dem Eintreten brechbarer Strahlen die weniger brech-

baren Farben intensiver werden, dass gleichzeitig mit dem Eintritt der kürzeren Wellen eine Vermehrung der Amplitude der längeren stattfindet.

Diese Bemerkungen beziehen sich nicht nur auf die sichtbare Emission, die Dr. Draper untersucht hat, sondern auch auf die unsichtbare Emission, die dem Auftreten irgend eines Lichtes vorangeht. In der Emission aus dem weissglühenden Platindraht vor Ihnen sind dieselben Wellen enthalten, wie bei der ersten schwachen Erwärmung des Drahtes, nur dass ihre Intensität auf das Tausendfache durch die zur Erzeugung dieses weissen Lichtes notwendige Temperaturerhöhung gesteigert worden ist. Beide Wirkungen sind mit einander verknüpft: in einem weissglühenden oder in einem geschmolzenen festen Körper können Sie die kürzeren Wellen nicht ohne diese Verstärkung der Intensität der längeren haben. Nur unter diesen Bedingungen ist eine Sonne möglich; und daher konnte Sir William Herschel die Entdeckung der unsichtbaren ultrarothern Sonnenstrahlung machen.

Die unsichtbare Wärme, die sowohl von dunkeln, als auch von leuchtenden Körpern ausgestrahlt wird, dringt durch den Raum mit der Geschwindigkeit des Lichtes und heisst strahlende Wärme. Nun kann die strahlende Wärme zu einem empfindlichen und werthvollen Reagens für die molekularen Verhältnisse gemacht werden, und sie hat in den letzten Jahren der chemischen Verbindung eine neue Bedeutung gegeben. Nehmen Sie z. B. die Luft, die wir athmen. Sie ist eine Mischung von Sauerstoff und Stickstoff. Sie verhält sich wie ein Vacuum zur strahlenden Wärme, da sie unfähig ist, dieselbe auf irgend eine Weise zu absorbiren. Verbinden Sie aber die beiden Gase chemisch; ohne irgend eine Vermehrung der Quantität der Materie, ohne irgend eine Veränderung des Gaszustandes, ohne

irgend eine Veränderung der Durchsichtigkeit des Gases ist diese Vollziehung der chemischen Verbindung von einer sehr bedeutenden Abnahme ihrer Diathermansie oder Durchlässigkeit für die strahlende Wärme begleitet.

Die Versuche, die dieses Resultat bestätigten, bewiesen auch, dass die elementaren Gase gewöhnlich für strahlende Wärme sehr durchlässig sind. Dieses führte wieder zum Beweise der Diathermansie der elementaren Flüssigkeiten, wie des Broms, und der Lösungen der festen Körper, Schwefel, Phosphor und Jod. Vor Ihnen ist jetzt ein Spectrum und Sie bemerken, dass dieser durchsichtige Schwefelkohlenstoff keinen Einfluss auf die Farben hat. Lassen wir einige Splitter von Jod in die Flüssigkeit fallen, so sehen Sie, wie die Mitte des Spectrums abgeschnitten wird. Vermehren wir die Jodmenge, so erstreckt sich die Wirkung über das ganze Spectrum und wir schneiden es zuletzt ganz ab. Das Jod, das sich gegen das Licht so feindselig bewiesen, ist nun für die ultraroth Emission, mit der wir jetzt zu thun haben, vollkommen durchlässig. Daher soll es uns als Strahlenfiltrum dienen.

Stellen wir das Alaungefäss wieder vor unsere elektrische Lampe, so versichern wir uns wieder, wie vorher, der vollkommenen Unfähigkeit des concentrirten Lichtes, weisses Papier zu entzünden. Führen wir ein Gefäss ein, das eine Jodlösung enthält, so wird das Licht ganz abgeschnitten; nehmen wir dann das Alaungefäss fort, so entzündet sich das Papier im dunkeln Brennpunkt augenblicklich. Das schwarze Papier absorbirt diese ultraroth Strahlen weit stärker, als weisses; und die Folge davon ist, dass bei ihm die Geschwindigkeit und die Intensität der Verbrennung sich steigert. Zink wird an der-

selben Stelle verbrannt, Magnesium bricht in eine lebhaft Flamme aus, während ein Blatt von platinirtem Platin in dem Focus weissglühend wird.

Durch ein Prisma gesehen, giebt das weissglühende Platin alle Farben des Spectrums wieder. Ehe die Wellen auf das Platin fielen, traten sie zu selten auf und konnten deshalb nicht gesehen werden; durch die Platinatome werden diese langen und langsamen Wellen in kürzere verwandelt und so sichtbar gemacht. Am andern Ende des Spectrums verminderte Stokes durch Zwischenstellung geeigneter Substanzen die Brechbarkeit, so dass er die nicht sichtbaren Strahlen sichtbar machte, und dieser Veränderung gab er den Namen Fluorescenz. Hier wird durch die Zwischenkunft des Platins die Brechbarkeit erhöht, so dass die nicht sichtbaren Strahlen sichtbar werden, und dieser Veränderung geben wir den Namen Calorescenz.

In dem vollkommen unsichtbaren Brennpunkte, wo diese Wirkungen erzeugt werden, kann die Luft kalt wie Eis sein. Die Luft absorbirt nicht, wie wir schon gesagt haben, die strahlende Wärme und wird daher auch nicht von ihr erwärmt. Nichts könnte überzeugender, wenn ich den Ausdruck brauchen darf, die Isolirung des leuchtenden Aethers in der Luft bestätigen. Die Wellenbewegung des Aethers steigert sich, ohne dass auf die Luft irgend ein Einfluss ausgeübt wird. Ich kann hinzufügen, dass das Auge mit gehöriger Vorsicht in einen Brennpunkt, wo Platin rothglühend wird, gebracht werden kann, ohne im geringsten darunter zu leiden, ja ohne nur die leiseste Empfindung von Licht oder Wärme zu spüren.

Die wichtige Rolle, die diese ultrarothten Strahlen in der Natur spielen, kann ich folgendermaassen zeigen:

Ich entferne das Jodfiltrum und concentrire den ganzen Strahl auf ein Reagirglas voll Wasser. Das Wasser beginnt sogleich Blasen zu schlagen und in ein oder zwei Minuten zu sieden. Was bringt es zum Sieden? Stellen wir die Alaunlösung vor die Lampe, so hört das Sieden sogleich auf. Der Alaun ist durchlässig für alle leuchtenden Strahlen; daher können es diese Strahlen nicht sein, die das Sieden bewirken. Ich führe jetzt die Jodzelle ein und entferne den Alaun; sogleich tritt ein heftiges Aufwallen im unsichtbaren Brennpunkt ein. Wir müssen also hier den ultrarothten Strahlen die Erwärmung des Wassers zuschreiben.

So können wir die wichtige Rolle verstehen, die diese Strahlen in der Natur spielen. Ihnen verdanken wir die Erwärmung und die darauf folgende Verdunstung des tropischen Oceans; ihnen verdanken wir daher unsere Regenschauer und unsern Schnee. Sie werden dicht an der Oberfläche des Oceans absorbirt und erwärmen das Wasser an der Oberfläche, während die leuchtenden Strahlen bis in grosse Tiefen eindringen, ohne eine merkliche Wirkung hervorzubringen. Aber wir können noch weiter gehen. Hier ist eine grosse Flasche voll einer Kältemischung, die die Flasche so stark abgekühlt hat, dass der Wasserdampf in der Luft sich darauf niedergeschlagen hat und zu einem weissen Pelz erstarrt ist. Führen wir die Alaunzelle ein und bringen wir den Ueberzug von Reif in den hell leuchtenden Brennpunkt, so wird auch nicht ein Kryställchen des Reifes geschmolzen. Wird die Jodzelle zwischengeschaltet und die Alaunzelle entfernt, so wird sogleich eine grosse Stelle des gefrorenen Ueberzuges abgeschmolzen. Daraus schliessen wir, dass der Schnee und das Eis, welches die Rhône, den Rhein und andere Flüsse nährt, deren Quellen Gletscher sind, aus

seiner Gefangenschaft auf den Bergen durch die unsichtbaren ultrarothten Strahlen erlöst wird.

Die Entwicklung der Wissenschaft ist eine streng logische. Das was heute Ziel war, wird morgen Mittel zu einem ferneren Ziel. Jede neue Entdeckung in der Wissenschaft wird augenblicklich zur Grundlage weiterer Entdeckungen oder neuer Methoden der Forschung gemacht. So entdeckte vor 50 Jahren Oersted in Kopenhagen die Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom und etwa um dieselbe Zeit entdeckte Seebeck in Berlin die Thermoelektricität. Diese grossen Entdeckungen wurden bald nachher von Nobili und Melloni bei der Construction eines Instrumentes verworther, welches wesentlich unsere Kenntniss der strahlenden Wärme bereichert hat. Dieses Instrument, die sogenannte thermoelektrische Säule, besteht aus dünnen Stäben von Wismuth und Antimon, welche abwechselnd mit den Enden an einander gelöthet sind, aber von einander an allen anderen Orten getrennt sind. Von den Enden der Säule gehen Drähte zum Galvanometer, welches aus einer Spirale von übersponnenem Kupferdraht besteht, in und über welcher zwei zu einem festen System verbundene und sorgfältig vor Luftströmungen geschützte Magnetnadeln hängen.

Die Wirkung dieser Anordnung ist die folgende: Die Wärme, welche auf die Säule fällt, bringt einen galvanischen Strom hervor; der durch die Spirale fliessende Strom lenkt die Nadeln ab, und die Grösse der Ablenkung dient als Maass für die Wärme. Die über einem getheilten Kreise schwingende obere Nadel ist viel zu klein, um gesehen zu werden. Sie wird aber jetzt hell beleuchtet. Darüber befindet sich eine Linse, die event. ein Bild der Nadel und des Kreises an der Decke entwerfen würde, wo

es indess nicht bequem gesehen werden könnte. Der Lichtstrahl wird deshalb auf einem in einem geeigneten Winkel geneigten Spiegel aufgefangen, der das Bild auf den Schirm wirft. So können die Bewegungen der kleinen Nadel Ihnen Allen sichtbar gemacht werden.

Die Empfindlichkeit dieses Apparates ist so gross, dass in einem Raum, der mit einer physisch „warmen“ Versammlung gefüllt ist, das Arbeiten damit äusserst schwierig ist. Mein Gehülfe steht einige Schritt von demselben entfernt. Ich wende ihm die Säule zu. Die Wärme seines Gesichtes bringt schon in dieser Entfernung eine Ablenkung von 90° hervor. Ich kehre das Instrument gegen eine entfernte Wand, die eine etwas niedrigere Temperatur hat, als der Saal. Die Nadel geht auf Null zurück und schlägt nach der andern Seite aus und zeigt durch diese negative Ablenkung an, dass die Säule die Erkältung durch die Mauer empfindet. Mit Hülfe dieses Instrumentes, des Strahlenfilters und unserer grossen Nicol'schen Prismen können wir einen Gegenstand von hohem physikalischen Interesse studiren, der lange schon die Aufmerksamkeit einiger unserer bedeutendsten Forscher beschäftigt hat — die Identität des Lichtes und der strahlenden Wärme.

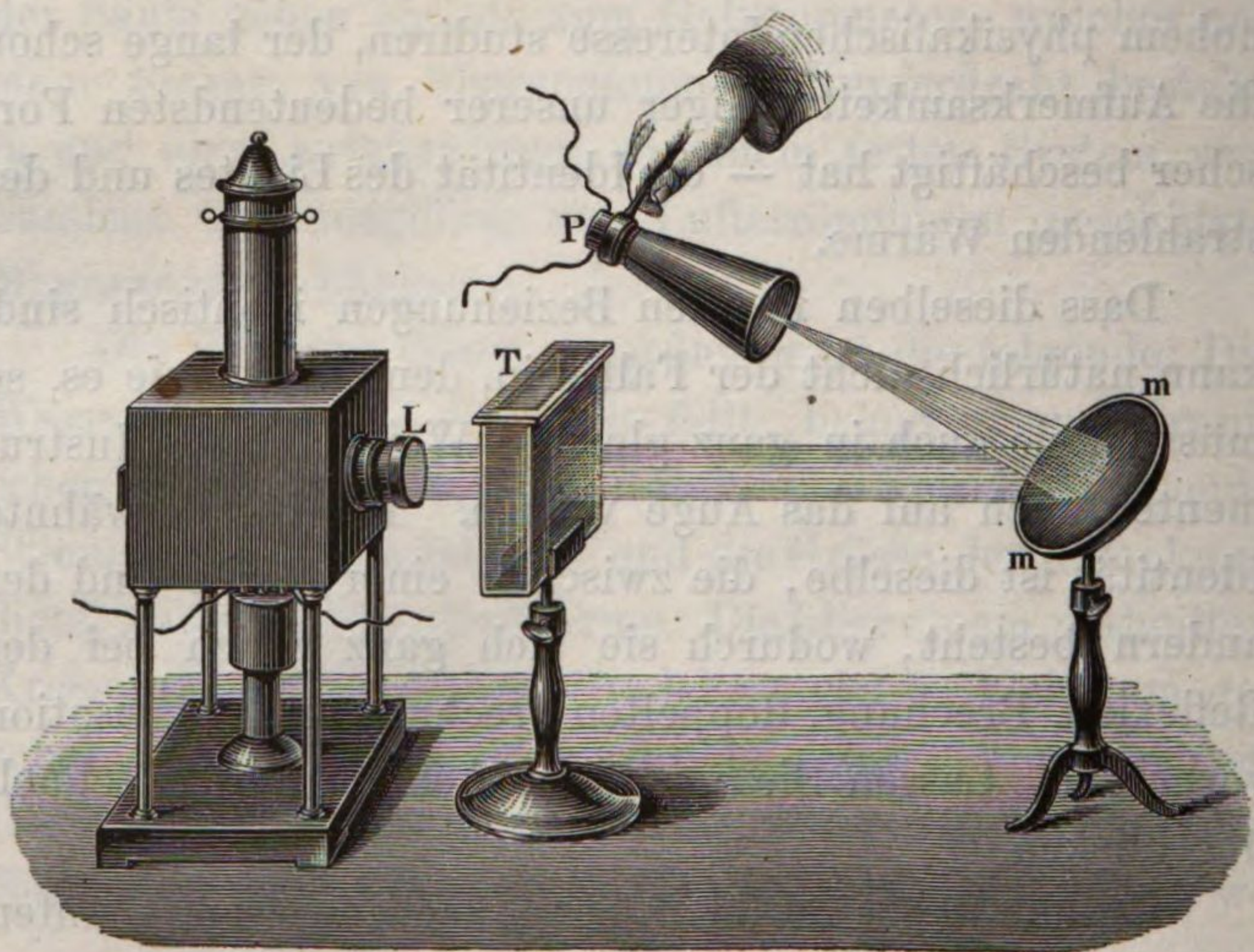
Dass dieselben in allen Beziehungen identisch sind, kann natürlich nicht der Fall sein, denn wären sie es, so müssten sie auch in ganz gleicher Weise auf alle Instrumente, auch auf das Auge wirken. Die hier erwähnte Identität ist dieselbe, die zwischen einer Farbe und der andern besteht, wodurch sie sich ganz gleich bei der Reflexion, Brechung, doppelten Brechung und Polarisation verhalten. Lassen Sie uns diese Aehnlichkeiten schnell überblicken.

Um die Reflexion des Lichtes nachzuweisen, könnten

wir einen gewöhnlichen Spiegel verwenden. Wir bezeichnen einen Punkt in dem Wege des reflectirten Strahles, schneiden das Licht durch das Jod ab, setzen die Säule an den bezeichneten Punkt und sehen, dass die Nadel sogleich ausschlägt und dadurch anzeigt, dass die Wärme in derselben Richtung reflectirt wird. Dies gilt für jede Lage des Spiegels. Nehmen wir z. B. die Versuche mit dem Apparat wieder auf, den wir in unserer ersten Vorlesung verwendet haben; bewegen wir den an dem Spiegel befestigten Zeiger über die Theilstriche unseres getheilten Bogens (mn Fig. 3) und bestimmen durch die Säule die Lagen des unsichtbar reflectirten Strahles, so finden wir seine Winkelgeschwindigkeit doppelt so gross, wie die des Spiegels.

In Betreff der Reflexion von gekrümmten Oberflächen gilt die Identität ebenfalls. Der Strahl der elektrischen Lampe L fällt auf einen Hohlspiegel mm (Fig. 52), und wird dadurch zu einem Kegel von reflectirtem Licht ver-

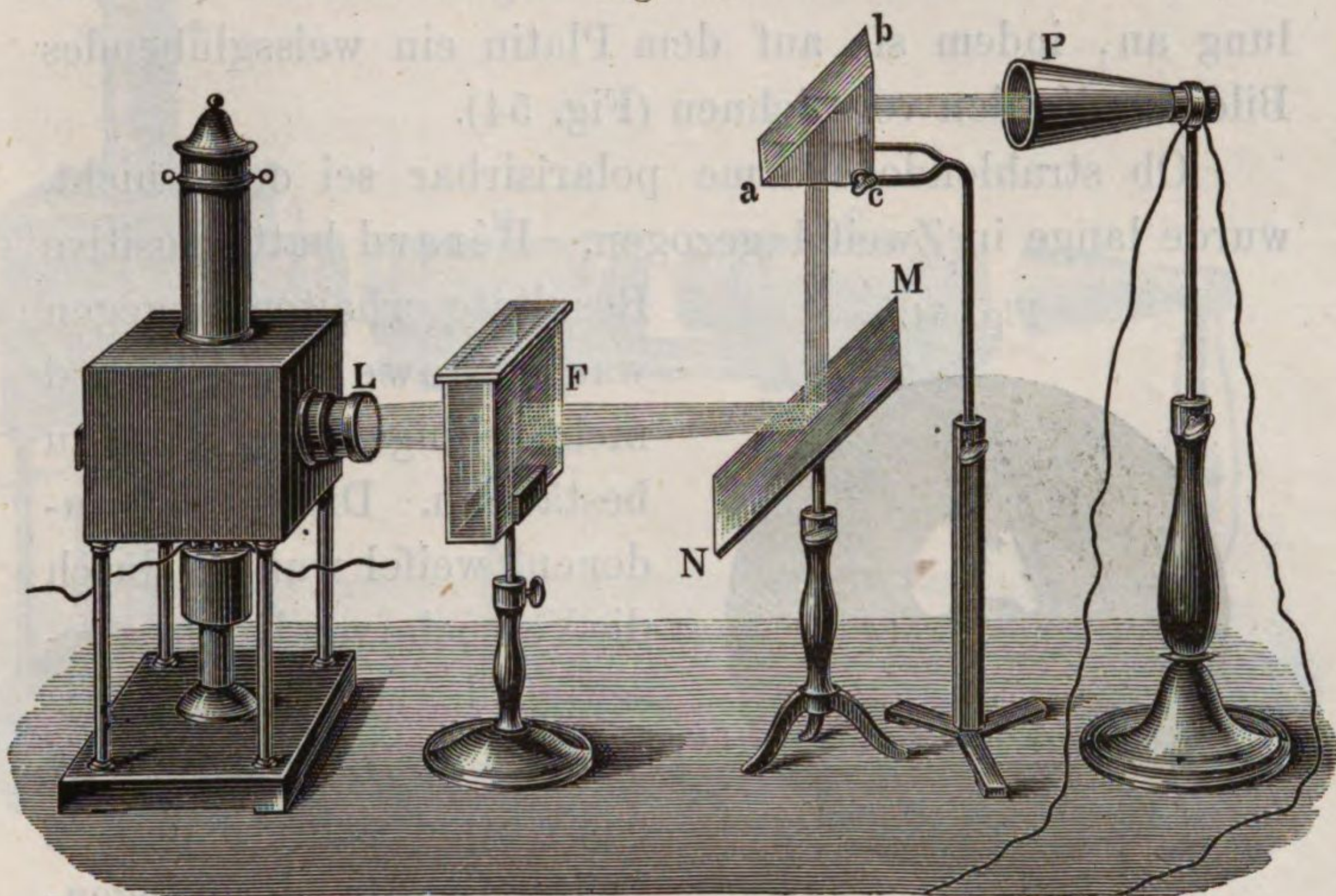
Fig. 52.



eint. Bezeichnen wir die Spitze des Kegels mit einer Nadel, schneiden das Licht durch die Jodlösung T ab und bringen die Säule P für einen Augenblick an den bezeichneten Punkt, so wird die Nadel heftig abgelenkt.

Die gewöhnliche und totale Reflexion eines Strahles von strahlender Wärme kann gleichzeitig nachgewiesen werden. Von der Oeffnung der Lampe L (Fig. 53) fällt ein

Fig. 53.



Strahl auf den ebenen Spiegel (MN), wird daselbst nach oben reflectirt und tritt in ein rechtwinkliges Prisma, dessen Querschnitt abc ist. Er trifft auf die Hypotenuse in einem stumpfern Winkel auf, als der Grenzwinkel ist (vergl. Vorlesung I.) und wird dabei total reflectirt. Wird das Licht durch das Strahlenfilter F ausgelöscht und die Säule in P aufgestellt, so empfindet die Säule sogleich den total reflectirten Wärmestrahle, und letzterer wird durch die Ablenkung der Galvanometernadel angezeigt.

Vielleicht beweist kein Experiment schlagender die Identität des Lichtes und der strahlenden Wärme, als die

Herstellung unsichtbarer Wärmebilder. Wenden wir den schon gebrauchten Spiegel an, um den Strahl möglichst zu concentriren, so erhalten wir bekanntlich ein umgekehrtes Bild der Kohlenspitzen durch die im Brennpunkt vereinten Lichtstrahlen. Wird das Licht durch das Strahlenfilter abgeschnitten, und in den Brennpunkt ein dünnes Blatt von platinirtem Platin gebracht, so zeigen die unsichtbaren Strahlen ihre Gegenwart und Vertheilung an, indem sie auf dem Platin ein weissglühendes Bild der Kohlen verzeichnen (Fig. 54).

Fig. 54.



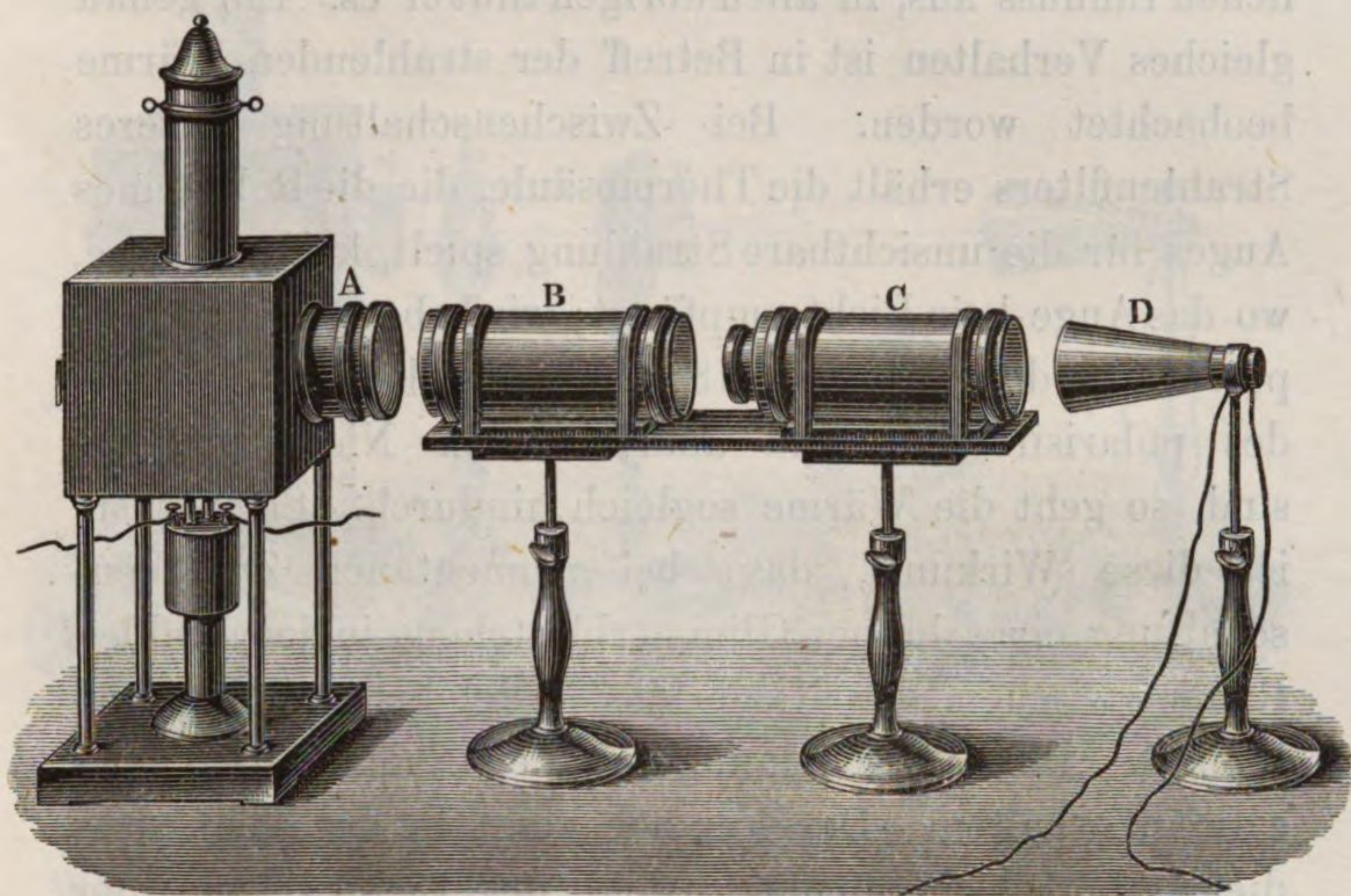
Resultate erhalten, dagegen war es Powell und Lloyd nicht gelungen, dieselben zu bestätigen. Die so entstandenen Zweifel wurden durch die Versuche von Forbes beseitigt, der zuerst die Polarisation und „Depolarisation“ der Wärme sicher nachwies. Später wurde der Gegenstand von Melloni weiter

verfolgt, einem höchst ausgezeichneten Forscher, der seine eigene Entdeckung, dass dunkle Strahlen von leuchtenden Quellen theilweise durch schwarzes Glas hindurchgehen, sehr geschickt verwendete. Er fing durch eine Platte von schwarzem Glase das Licht einer Oellampe ab, experimentirte mit der hindurchgelassenen unsichtbaren Wärme und erhielt Polarisationswirkungen, die viel bedeutender waren, als diejenigen, welche mit nicht leuchtenden Quellen erhalten werden konnten. Jetzt sind wir mit Hülfe unseres vollkommenern Strahlenfilters und unserer

viel kräftigern Wärmequelle im Stande, die Identität von Licht und strahlender Wärme experimentell bis zu der äussersten Grenze zu verfolgen.

Werden unsere zwei Nicols *B* und *C* (Fig. 55) gekreuzt vor der elektrischen Lampe aufgestellt, so erreicht

Fig. 55.



kein Licht den Schirm. Wird unsere thermoelektrische Säule *D* hinter die Prismen, mit ihrer Fläche der Lichtquelle zugekehrt, aufgestellt, so kann keine Ablenkung der Galvanometernadel beobachtet werden. Bringen wir zwischen die Lampe *A* und das erste Prisma *B* das Strahlenfilter, so wird das vorher durch das erste Prisma hindurchgehende Licht ausgelöscht, und jetzt öffnet die kleinste Drehung eines der Nicols nach rechts oder links einen Weg für den Durchgang der Wärme; eine sehr kleine Drehung genügt, die Nadel bis zu 90° abzulenken. Wird das Nicol in seine erste Lage zurückgedreht, so

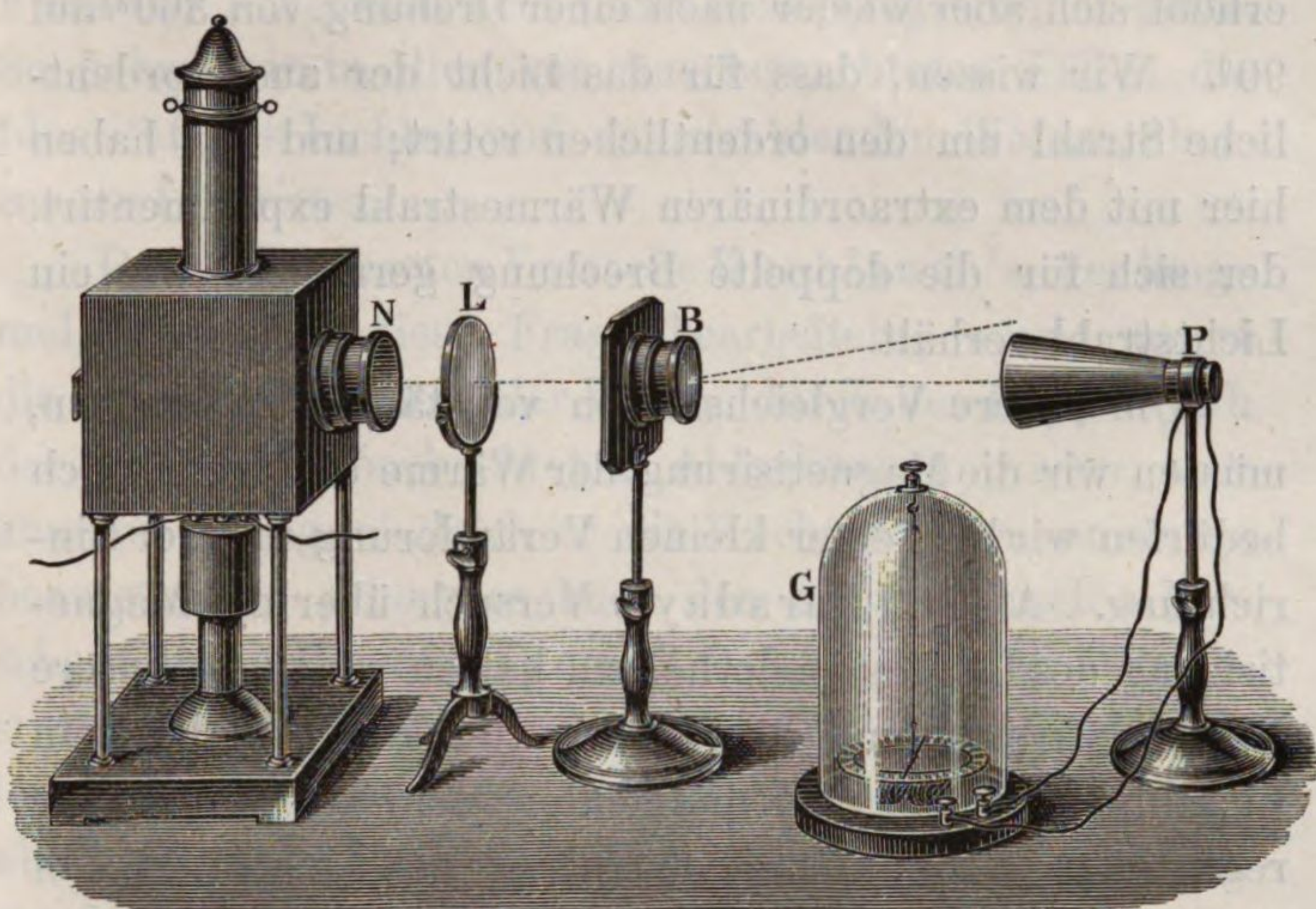
fällt die Nadel wieder auf Null und weist so vollkommen klar die Polarisation der Wärme nach.

Sind die Nicols gekreuzt und ist das Feld dunkel, so kennen Sie die Wirkung einer zwischen das polarisierende und analysierende Prisma gebrachten Glimmerplatte auf das Licht. In zwei Lagen übt der Glimmer keinen merklichen Einfluss aus, in allen übrigen thut er es. Ein genau gleiches Verhalten ist in Betreff der strahlenden Wärme beobachtet worden. Bei Zwischenschaltung unseres Strahlenfilters erhält die Thermosäule, die die Rolle eines Auges für die unsichtbare Strahlung spielt, keine Wärme, wo das Auge kein Licht empfängt; wird aber die Glimmerplatte so gedreht, dass ihre Schwingungsebenen gegen die des polarisierenden und analysierenden Nicols geneigt sind, so geht die Wärme sogleich hindurch. So intensiv ist diese Wirkung, dass bei momentaner Zwischenschaltung eines dünnen Glimmerblättchens in den dunklen Raum zwischen den Nicols die Nadel bis auf 90° ausschlägt. Diese Erscheinung hat den Namen „Depolarisation“ erhalten. Der Versuch zeigt in der That, dass die Aetherschwingungen sowohl des Lichtes, wie der Wärme, in gleicher Weise durch die Glimmerplatte zerlegt und durch das analysierende Prisma wieder vereint werden. Wird das Glimmerblatt entfernt, die Nadel wieder auf 0° gebracht und zwischen die Nicol'schen Prismen eine senkrecht zur Axe geschnittene Bergkrystallplatte gebracht, so zeigt sofort die Ablenkung der Nadel den Durchgang der Wärme an; und wird der hindurchgegangene Strahl genau untersucht, so zeigt er eine Drehung der Polarisationsebene, gerade wie ein Lichtstrahl unter denselben Bedingungen.

Ich will jetzt die Nicols fortlassen und durch das schon zum Nachweis der Doppelbrechung des Lichtes

verwendete Stück Doppelspath *B* (Fig. 56) unseren durch das Strahlenfilter „abgesiebten“ unsichtbaren Wärmestrahle senden. Um die Lage der zwei Bilder zu bestim-

Fig. 56.



men, wollen wir zuerst mit dem ganzen Strahl arbeiten. Wir bezeichnen die Stellen der Lichtbilder, bringen zwischen *N* und *L* unser Strahlenfilter (welches in der Figur nicht angegeben ist) und fangen das Licht ab. Nähern wir die Säule allmählich einer der bezeichneten Stellen, so bleibt zunächst die Nadel in Ruhe, bis die Stelle erreicht ist; hier weist aber die Säule sofort die Wärme nach. Wird die Säule durch den Zwischenraum zwischen den beiden bezeichneten Punkten geschoben, so sinkt die Nadel erst auf Null und erhebt sich dann wieder auf 90° in der zweiten Lage.

Ich drehe jetzt den Doppelspath, während die Säule von dem Strahl getroffen wird, dessen Lichtbild vorher bei der Drehung unverändert an seiner Stelle blieb. Die

Nadel bleibt in ihrer Lage, die Ablenkung ändert sich nicht. Führe ich die Säule schnell zu der andern bezeichneten Stelle, so bleibt die Ablenkung bestehen. Ich drehe noch einmal den Doppelspath, und jetzt sinkt die Nadel auf 0° , erhebt sich aber wieder nach einer Drehung von 360° auf 90° . Wir wissen, dass für das Licht der ausserordentliche Strahl um den ordentlichen rotirt; und wir haben hier mit dem extraordinären Wärmestrahle experimentirt, der sich für die doppelte Brechung gerade so wie ein Lichtstrahl verhält.

Um unsere Vergleichsreihen vollständig zu machen, müssen wir die Magnetisirung der Wärme erklären. Doch bedürfen wir hier einer kleinen Veränderung unserer Einrichtung. Als wir Faraday's Versuch über die Magnetisirung des Lichtes wiederholten, hatten wir zuerst unsere Nicols gekreuzt und das Feld verdunkelt, so dass ein Lichtblitz auf dem Schirm erschien, wenn der Magnet erregt wurde. Nun ist die Quantität des Lichtes, das in diesem Falle durchgelassen wird, sehr gering und seine Wirkung wird nur durch den Contrast mit der vorhergehenden Dunkelheit so überraschend. Stellen wir unsere Nicols so, dass ihre Hauptschnitte einen Winkel von 45° einschliessen, so erzeugt die Erregung des Magneten eine bei weitem grössere positive Vermehrung des Lichtes, obgleich die Steigerung hier durch den Mangel des Contrastes weniger deutlich gesehen wird, da beim Beginn das Feld schon beleuchtet war.

Bei dem Versuch, unsern Wärmestrahle zu magnetisiren, wollen wir diese Anordnung anwenden. Hier fällt jedoch beim Beginn eine bedeutende Wärmemenge auf die eine Seite der Säule, die wir nothwendiger Weise neutralisiren müssen, indem wir Strahlen von einer andern Quelle auf die andere Seite der Säule fallen lassen. Die Nadel wird so

auf Null gebracht. Schneiden wir das Licht durch unser Strahlenfiltrum ab und erregen den Magneten, so wird die Nadel augenblicklich abgelenkt, ein Beweis, dass der Magnet der Wärme einen Weg eröffnet hat, gerade wie er in Faraday's Versuch dem Licht einen Weg eröffnet hatte. So haben wir in allen von uns betrachteten Fällen die Identität des Lichtes und der strahlenden Wärme überzeugend bewiesen.

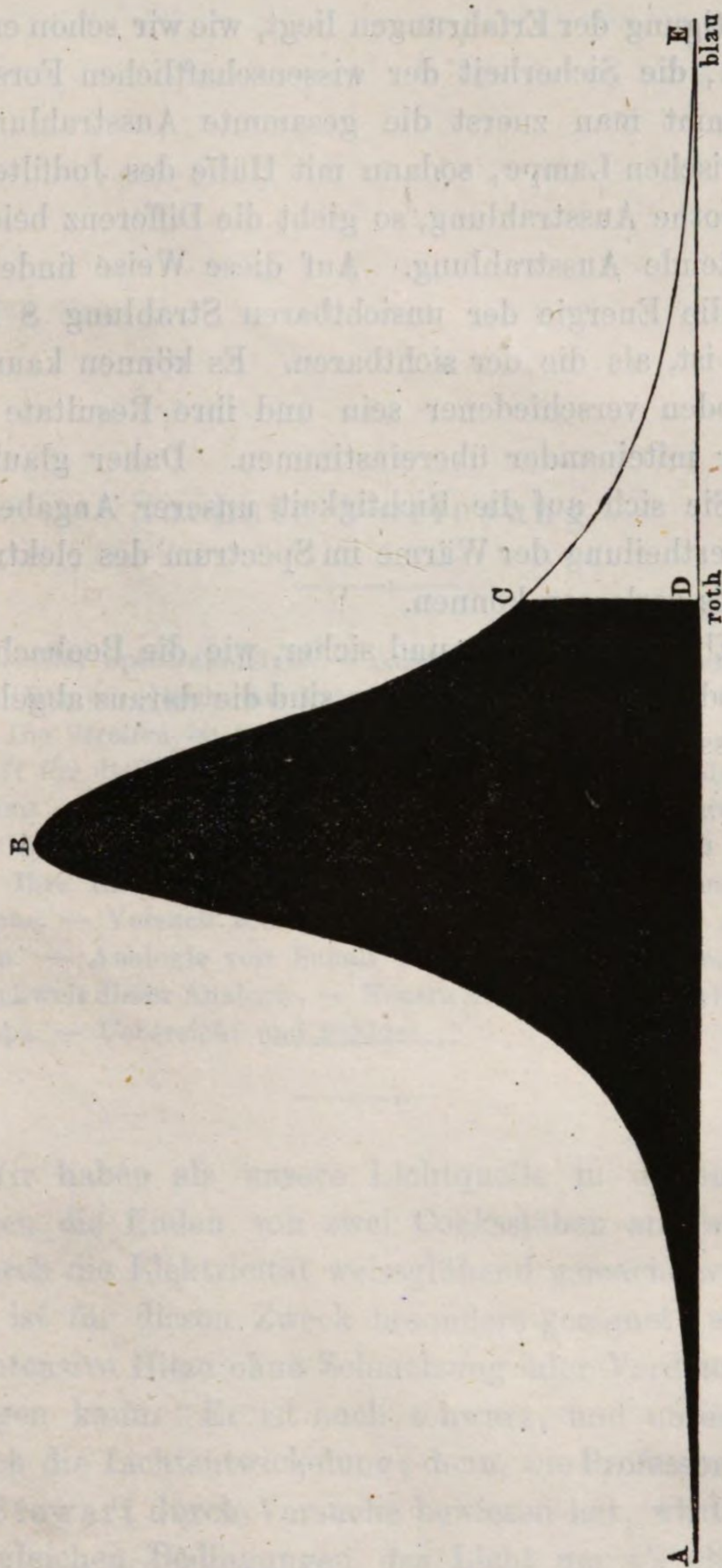
Durch die exacten Versuche Knoblauch's, der lange und mit Erfolg diese Frage bearbeitete, wurde zuerst die doppelte Brechung der Wärme durch den Doppelspath dargelegt; die beobachteten Ablenkungen waren aber äusserst gering, obgleich er die leuchtende Sonnenwärme benutzte. So gelang es auch den ausgezeichneten Forschern De la Provostaye und Desains, einen Wärmestrahle zu magnetisiren; und obgleich sie ebenfalls die leuchtende Sonnenwärme benutzten, so betrug die beobachtete Ablenkung doch nicht mehr als zwei oder drei Grad. Mit der hier angewendeten Anordnung können wir Ablenkungen vermittelt der unsichtbaren Wärme hervorbringen, die 150 der niederen Grade des Galvanometers gleichkommen.

Wir haben endlich noch die Lage und die Grösse der unsichtbaren Strahlung zu bestimmen, die diese Erfolge bewirkt. Zu diesem Zweck wenden wir eine besondere Form der thermoelektrischen Säule an. Ihre Vorderfläche ist ein Rechteck, das man durch bewegliche seitliche Schirme so schmal machen kann, wie man will. Wir werfen ein kleines und concentrirtes Spectrum auf den Schirm, bewegen vermöge einer endlosen Schraube diese rechteckige Säule durch das ganze Spectrum und bestimmen nacheinander die Wärmewirkung all seiner Farben.

Wird dieses Instrument in das violette Ende des Spectrums gebracht, so ist die Wärme kaum bemerkbar. So wie die Säule sich allmählich vom Violett zum Roth bewegt, nimmt sie allmählich zu. Das Roth besitzt die stärkste erwärmende Kraft unter allen Farben des Spectrums. Schieben wir die Säule in den dunkeln Raum jenseits des Roth, so nimmt die Wärme plötzlich an Intensität zu und in einiger Entfernung jenseits des Roth erreicht sie ihr Maximum. Von diesem Punkt an nimmt sie schneller ab, als sie zunahm und verschwindet nachher allmählich ganz.

Ziehen wir eine horizontale Linie, um die Länge des Spectrums darzustellen, und errichten wir auf ihr an verschiedenen Stellen Lothe, deren Länge der Wärme an jenen Punkten proportional ist, so erhalten wir eine Curve, die die Vertheilung der Wärme in unserm Spectrum angiebt. Sie ist auf der folgenden Figur dargestellt. Mit dem Blau beginnend, steigt die Curve zuerst allmählich; gegen das Roth hin steigt sie schneller, die Linie *CD* (Fig. 57) stellt die Stärke der äussersten rothen Strahlung dar. Jenseits des Roth erhebt sie sich zu einem steilen und massiven Gipfel *B*, von wo sie wieder sinkt, zuerst schnell und dann allmählich, bis die Wärmewirkung durch die Säule nicht mehr wahrgenommen werden kann. Diese Figur ist das Resultat von mehr als zwölf sorgfältig angestellten Beobachtungsreihen, für deren jede die Curve construirt wurde. Als alle diese Curven übereinander gelegt wurden, fand sich eine genügende Uebereinstimmung zwischen ihnen, so dass wir sicher schliessen können, dass jedes Mal die Flächeninhalte der dunkeln und weissen Räume die relativen Energieen der sichtbaren und unsichtbaren Ausstrahlung darstellen. Die eine ist 7.7 Mal grösser, als die andere. Aber in der wiederholten

Fig. 57.



Bestätigung der Erfahrungen liegt, wie wir schon erwähnt haben, die Sicherheit der wissenschaftlichen Forschung. Bestimmt man zuerst die gesammte Ausstrahlung der elektrischen Lampe, sodann mit Hülfe des Jodfilters die ultraroth Ausstrahlung, so giebt die Differenz beider die leuchtende Ausstrahlung. Auf diese Weise findet man, dass die Energie der unsichtbaren Strahlung 8 Mal so gross ist, als die der sichtbaren. Es können kaum zwei Methoden verschiedener sein und ihre Resultate kaum besser miteinander übereinstimmen. Daher glaube ich, dass Sie sich auf die Richtigkeit unserer Angaben über die Vertheilung der Wärme im Spectrum des elektrischen Lichtes verlassen können.

Ebenso bestimmt und sicher, wie die Beobachtungsmethode ist, ebenso zweifellos sind die daraus abgeleiteten Schlüsse.

Sechste Vorlesung.

Principien der Spectralanalyse. — Analyse des Lichtes weissglühender Dämpfe durch das Prisma. — Discontinuirliche Spectra. — Die Streifen im Spectrum sind nach Bunsen und Kirchhoff für die Dämpfe charakteristisch. — Entdeckung des Rubidiums, Cäsiums und Thalliums. — Beziehungen zwischen Emission und Absorption. — Die Fraunhofer'schen Linien. — Ihre Erklärung durch Kirchhoff. — Die Chemie der Sonne. — Versuch von Foucault. — Principien der Absorption. — Analogie von Schall und Licht. — Experimenteller Nachweis dieser Analogie. — Neuere Anwendungen des Spectroskops. — Uebersicht und Schluss.

Wir haben als unsere Lichtquelle in diesen Vorlesungen die Enden von zwei Coaksstäben angewendet, die durch die Elektricität weissglühend gemacht wurden. Coaks ist für diesen Zweck besonders geeignet, weil er eine intensive Hitze ohne Schmelzung oder Verdampfung vertragen kann. Er ist auch schwarz, und unterstützt dadurch die Lichtentwicklung; denn, wie Professor Balfour Stewart durch Versuche bewiesen hat, wird unter sonst gleichen Bedingungen das Licht um so glänzen-

der beim Weissglühen, je schwärzer der Körper ist. Indess, so schwer schmelzbar auch die Kohle ist, wenn wir unsern Volta'schen Bogen oder den Lichtstrom zwischen den Kohlenspitzen genau untersuchten, so würden wir dort weissglühenden Kohlendampf finden. Und könnten wir das Licht dieses Dampfes vom glänzenden Licht der festen Punkte trennen, so würden wir sein Spectrum nicht nur weniger glänzend, sondern auch ganz verschieden von den Spectren finden, die wir bisher gesehen. Statt eine ununterbrochene Farbenreihe vom Roth zum Violett zu geben, würde der Kohlendampf nur wenige Farbstreifen mit dazwischenliegenden dunkeln Räumen geben.

Was bei der Kohle zutrifft, geschieht in noch viel überraschenderer Weise bei den Metallen, von denen die am schwersten flüchtigen zum Sieden gebracht und durch den elektrischen Strom geschmolzen in Dampf verwandelt werden können. Vom weissglühenden Dampf strahlt als allgemeine Regel das Licht in Strahlengruppen von bestimmten Graden der Brechbarkeit aus, und zwischen den Gruppen befinden sich Räume, die von keinerlei Art Strahlen ausgefüllt sind. Doch wird die Anschauung der Thatsachen Ihnen dies verständlicher machen, als alle Worte. In die elektrische Lampe wird jetzt ein Kohlen-cylinder eingesetzt, der an der Spitze ausgehöhlt ist, um ein Stückchen Metall hineinzuthun; in diese Höhlung legen wir ein Stückchen des Metalls Thallium. Auf dieses bringen wir die obere Kohlenspitze und trennen dann die eine von der andern. Zwischen ihnen bildet sich ein Strom von weissglühendem Thalliumdampf, dessen vergrössertes Bild Sie jetzt auf dem Schirm sehen. Es ist von schöner grüner Farbe. Was bedeutet dieses Grün? Wir beantworten diese Frage, indem wir das Licht der prismatischen Analyse unterziehen. Hier haben Sie sein Spectrum, das

nur aus einem einzigen gebrochenen Streifen besteht. Licht von nur einer Brechbarkeit, das dem Grün entspricht, wird vom Thalliumdampf ausgestrahlt.

Wir wollen jetzt das Thallium fortnehmen und ein Stück Silber an seine Stelle legen. Der Lichtbogen des Silbers kann nicht von dem des Thalliums unterschieden werden; er ist nicht nur grün, wie der des Thalliumdampfes, sondern hat auch dieselbe grüne Schattirung. Sind sie sich deshalb gleich? Wir können diese Frage durch die prismatische Analyse beantworten. Es ist ganz unmöglich, das Spectrum des weissglühenden Silberdampfes mit dem des Thalliums zu verwechseln. Hier sind zwei grüne Streifen statt eines.

Setzen wir zu dem Silber in unserer Camera ein Stückchen Thallium hinzu, so werden wir das Licht der beiden Metalle erhalten, und wenn wir ein wenig warten, so sehen wir, dass das Grün des Thalliums mitten zwischen den beiden Grün des Silbers liegt. Daher diese Aehnlichkeit der Farbe.

Sie beobachten aber noch eine andere interessante Erscheinung. Der Thalliumstreifen ist am Anfang weit glänzender als die Streifen des Silbers. In der That haben die letzteren merkwürdig an Helligkeit verloren, seit das Stückchen Thallium hinzugekommen ist, und zwar aus einem bemerkenswerthen Grunde. Es ist der Widerstand, auf den der elektrische Strom auf seinem Wege von Kohle zu Kohle stösst, der die Fähigkeit des Stromes, Wärme zu erzeugen, hervorruft. Würde der Widerstand bedeutend vermindert werden, so würde auch die Wärme bedeutend vermindert werden; und wenn aller Widerstand aufgehoben würde, so würde auch keine Wärme erzeugt werden. Nun ist Thallium ein Metall, das weit leichter schmelzbar und flüchtiger ist als Silber; und sein Dampf

erleichtert den Durchgang des Stromes so bedeutend, dass er fast nicht mehr im Stande ist, das weniger leicht schmelzbare Silber in Dampf zu verwandeln. Das Thallium wird aber allmählich aufgezehrt; sein Dampf nimmt ab, der Widerstand nimmt zu, bis dass Sie zuletzt die beiden Silberstreifen so glänzend wie Anfangs sehen ¹⁾.

Wir haben in diesen Streifen ein vollkommen unwandelbares Kennzeichen dieser beiden Metalle. Sie erhalten nie andere, als diese beiden grünen Streifen vom Silber, niemals andere als nur den einzelnen grünen Streifen vom Thallium, nie andere als die drei grünen Streifen von der Mischung der beiden Metalle. Jedes bekannte Metall hat seine eigenen besonderen Streifen und in keinem bekannten Fall gleichen sich zwei verschiedene Metalle in der Brechbarkeit ihrer Strahlen. Daraus folgt, dass diese Spectra ein sicherer Prüfstein für das Vorhandensein oder die Abwesenheit irgend eines besonderen Metalles sind. Gehen wir von den Metallen zu ihren Legirungen über, so finden wir keine Verwirrung. Kupfer giebt grüne Streifen; Zink giebt blaue und rothe Streifen; Messing, eine Legirung von Kupfer und Zink, giebt die Streifen beider Metalle in Lage und Charakter vollkommen unverändert.

Wir sind aber nicht auf die Metalle selbst beschränkt; die Salze dieser Metalle geben dieselben Streifen wie die Metalle. Die chemische Verbindung wird durch genügend hohe Temperatur gelöst; der Dampf des Metalles wird frei und giebt seinen charakteristischen Streifen. Die Chloride der Metalle sind besonders für Versuche dieser Art geeignet. Das gewöhnliche Kochsalz ist z. B. eine

¹⁾ Man sollte diesen Umstand bei der Untersuchung zusammengesetzter Spectra nicht aus den Augen verlieren.

Verbindung von Chlor mit Natrium; in der elektrischen Lampe giebt es das Spectrum des Metalles Natrium. Die Chloride von Kupfer, Lithium und Strontium geben in gleicher Weise die Streifen dieser Metalle.

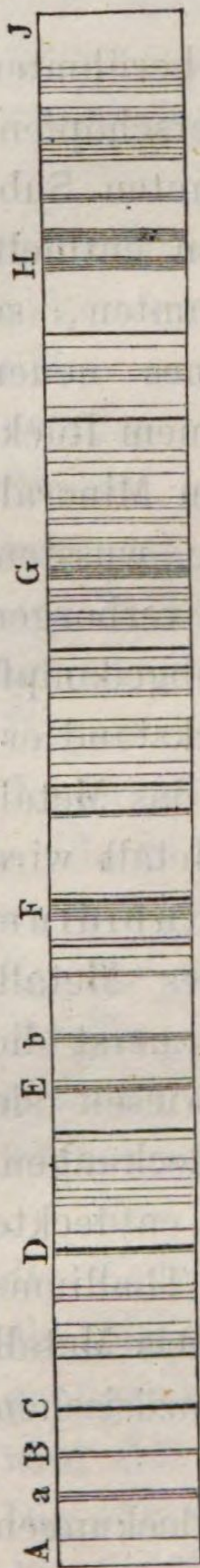
Als daher Bunsen und Kirchhoff, die berühmten Begründer der Spectralanalyse, nach einer erschöpfenden Untersuchung der Spectra aller bekannten Substanzen ein Spectrum entdeckten, das Streifen enthielt, die nicht mit den bekannten übereinstimmten, so schlossen sie sogleich auf die Existenz eines neuen Metalles. Sie arbeiteten eine Zeitlang mit einem Rückstand, der durch Abdampfen einer deutschen Mineralquelle erhalten worden war (Nauheim). Sie wussten, dass das unbekannte Metall in diesem Wasser verborgen sei, aber es mussten erst grosse Mengen davon abgedampft werden, ehe sie einen hinreichend grossen Rückstand erhielten, um mittelst der gewöhnlichen Chemie das Metall zu isoliren. Es gelang ihnen aber und das Metall wird jetzt unter den chemischen Substanzen als Rubidium aufgeführt. Sie entdeckten dann ein zweites Metall, das sie Caesium nannten. Nachdem sie so zuerst die Spectralanalyse fest begründet hatten, bewiesen sie ihre Leistungsfähigkeit als Hülfsmittel zu Entdeckungen. Herr Cookes, der dieselbe Methode verfolgte, entdeckte bald darauf das glänzende grüne Band des Thalliums und stellte auch die Salze des Metalles dar. Das Metall selbst wurde erst durch Herrn Lamy, einen französischen Chemiker, in Barren isolirt.

Dies Alles bezieht sich auf chemische Entdeckungen auf der Erde, wo das Material in unseren Händen ist. Doch wurde auch bald gezeigt, wie man die Spectralanalyse zur Untersuchung der Sonne und der Sterne anwenden könne; und dieses Resultat wurde durch die Lösung

eines Problems erreicht, das den Naturforschern lange ein Räthsel gewesen war. Wir müssen uns jetzt bemühen, das

Wesen und die Bewältigung dieses Räthsels zu verstehen. Ein Spectrum ist rein, in dem die Farben sich nicht gegenseitig decken. Wir reinigen das Spectrum, wenn wir unsern Spalt verengen und die Zahl der Prismen vermehren. Haben wir auf diese Weise ein reines Sonnenspectrum erhalten, so finden wir, dass es von unzähligen dunkeln Linien durchfurcht ist. Vier von ihnen wurden zuerst von Dr. Wollaston gesehen, sie wurden aber nachher von Fraunhofer mit so meisterhafter Geschicklichkeit vervielfältigt und gemessen, dass man sie nur als Fraunhofer'sche Linien kennt. Eine Erklärung dieser Linien zu geben, war, wie ich schon sagte, eine Aufgabe, die schon lange die Aufmerksamkeit der Naturforscher fesselte und Kirchhoff, Professor der Physik an der Universität Heidelberg, gebührt die Ehre, diese Aufgabe zuerst gelöst zu haben.

Fig. 58.



Die Stellung der Hauptlinien, die nach Fraunhofer mit Buchstaben bezeichnet sind, ist in der angefügten Zeichnung (Fig. 58) des Sonnenspectrums wiedergegeben. *A* steht nahe dem äussersten Roth, und *J* nahe dem äussersten Violett.

Die kurze, nur zwei Seiten lange Abhandlung, in der diese unsterbliche Entdeckung mitgetheilt wurde, wurde der Berliner Akademie am 27. October 1859 überreicht. Fraunhofer hatte im Spectrum einer Kerzenflamme zwei

glänzende Linien beobachtet, die der Lage nach vollständig mit der doppelten dunkeln Linie *D* des Sonnenspectrums übereinstimmten. Diese glänzenden Linien wurden mit besonderer Intensität durch die gelbe Flamme einer Mischung von Salz und Spiritus erzeugt. In der That sind es die Linien des Natriumdampfes. Kirchhoff erzeugte ein Spectrum, indem er das Sonnenlicht durch einen Spalt und ein Prisma auf sein Fernrohr fallen liess, und stellte vor seinen Spalt eine gelbe Natriumflamme. So lange das Spectrum schwach blieb, erschienen immer zwei von der Flamme herrührende glänzende Linien an Stelle der beiden dunkeln Linien *D* des Spectrums.

In diesem Falle wurde die Absorption, die die Flamme auf das Sonnenlicht ausübte, mehr als ausgeglichen durch die Ausstrahlung der Flamme. Wenn indess das Sonnenspectrum genügend intensiv gemacht wurde, so verschwanden die glänzenden Streifen gänzlich und die beiden dunkeln Fraunhofer'schen Linien erschienen mit weit grösserer Schärfe und Deutlichkeit, als wenn die Flamme nicht benutzt worden wäre.

Es ist zu bemerken, dass dieses Resultat nicht der wirklichen Auslöschung der hellen Linien der Flamme zuzuschreiben ist, sondern der Vermehrung der Intensität des angrenzenden Spectrums. Der Versuch bewies bis zur Ueberzeugung, dass, wenn das durch die Flamme gesandte weisse Licht genügend intensiv ist, die Menge, die die Flamme absorbirte, bei weitem die Menge übertraf, die sie ausstrahlte.

Dies ist ein Resultat von äusserster Wichtigkeit. Kirchhoff schloss sogleich daraus, dass die Salzflamme, die so auffallend die dunkeln Linien Fraunhofer's verstärken könne, auch im Stande sein müsse, sie zu erzeugen. Es ist bekannt, dass das Spectrum des Drum-

mond'schen Lichtes die beiden glänzenden Linien des Natriums zeigt, die indess allmählich verschwinden, wenn die kleine Menge Natrium, die in dem weissglühenden Kalk als Verunreinigung enthalten ist, erschöpft ist. Kirchhoff entwarf ein Spectrum des Kalklichtes und stellte, nachdem die beiden glänzenden Linien verschwunden waren, seine Salzflamme vor den Spalt. Die beiden dunkeln Linien *D* erschienen sofort. So hatte er künstlich im continuirlichen Spectrum des Kalklichtes die Linien *D* von Fraunhofer hervorgerufen.

Kirchhoff wusste, dass diese Wirkung nicht der Natriumflamme eigenthümlich war, und er dehnte sein Resultat sogleich auf alle gefärbten Flammen aus, die scharf begrenzte Streifen in ihren Spectren geben. Würde weisses Licht mit all seinen vollzähligen Bestandtheilen, so schloss er, durch diese Flammen gesandt, so müssten gerade die Bestandtheile absorbirt werden, deren Brechbarkeit dieselbe ist, wie die der glänzenden Streifen, so dass das weisse Licht bei genügender Intensität, wenn es durch solche Flammen gegangen wäre, ein Spectrum erzeugt hätte, welches von dunkeln Streifen durchfurcht wäre. Bei der hier besprochenen Gelegenheit gelang es Kirchhoff, auch einen glänzenden Lithiumstreifen umzukehren.

Die lange bestehenden Schwierigkeiten der Erklärung der Fraunhofer'schen Linien waren durch diese That-sachen und Experimente beseitigt, die auch den chemischen Forschungen eine unmessbare Ausdehnung gaben. Kirchhoff sah, dass nach den Linien, welche die Spectra der irdischen Substanzen zeigen, auch die Anwesenheit oder Abwesenheit dieser Substanzen in der Sonne und in den Fixsternen sogleich aufgefunden werden könne. So bewiesen die dunkeln Linien *D* im Sonnenspectrum das Dasein von Natriumdampf in der Sonnenatmo-

sphäre, während die glänzenden Linien, die Brewster in der Salpeterflamme fand, und die genau mit gewissen dunkeln Linien zwischen *A* und *B* im Sonnenspectrum übereinstimmten, das Dasein von Kalium in der Sonne nachwiesen.

Jede folgende Untersuchung bestätigte die Richtigkeit dieser erst so kühn scheinenden Schlüsse. Kirchhoff bewies in seiner zweiten Abhandlung, die er vor dem Jahresschluss von 1859 der Berliner Akademie mittheilte, dass die Sonne Eisen enthalte. Die glänzenden Linien des Spectrums von Eisendampf sind sehr zahlreich und Kirchhoff bewies, dass die Lage von 65 unter ihnen genau mit der von 65 der dunkeln Fraunhofer'schen Linien übereinstimmte. Angström und Thalén führten die Uebereinstimmung bis auf 450 für Eisen aus, während nach den Untersuchungen derselben ausgezeichneten Forscher folgende Zahlen die Uebereinstimmungen bei den respectiven Metallen, denen sie angehören, angeben:

Calcium	75	Nickel	33
Baryum	11	Kobalt	19
Magnesium	4	Wasserstoff	4
Mangan	57	Aluminium	2
Titan	118	Zink	2
Chrom	18	Kupfer	7

Die Wahrscheinlichkeit, dass alle diese Substanzen in der Sonnenatmosphäre enthalten sind, ist überwältigend.

Kirchhoff's Entdeckung veränderte bedeutend die Anschauungen, die man bisher über die Zusammensetzung der Sonne gehabt hatte, und sie führten ihn zu einer Ansicht über diese Zusammensetzung, die, wenn sie gleich im Einzelnen verändert werden mag, doch im Ganzen bis an das Ende aller Zeiten gültig bleiben wird. Die Sonne besteht aus einem Kern, der von einer glühenden Atmo-

sphäre von niedrigerer Temperatur umgeben ist. Dieser Kern mag zum Theil aus Wolken bestehen, die unter wirklichem Dampf liegen. Das Licht dieses Kernes würde uns ein continuirliches Spectrum geben, gleich dem unserer Kohlenspitzen; doch da es durch die Photosphäre gehen muss, wie unser Strahl durch die Salzflamme, so werden diejenigen Strahlen des Kernes, welche die Photosphäre selbst ausstrahlen kann, absorbirt, und dunklere Linien, die den besonderen absorbirten Strahlen entsprechen, entstehen im Spectrum. Vernichten wir den Sonnenkern, so würden wir ein Spectrum erhalten, bei dem an Stelle jeder dunkeln Fraunhofer'schen Linie glänzende Linien träten, wie bei dem zweiten Versuch von Kirchhoff, wo wir die glänzenden Natriumlinien haben würden, wenn das Kalklicht entfernt würde. Diese Fraunhofer'schen Linien sind also nicht absolut dunkel, sondern nur dunkel im Verhältniss zu der Menge des aufgefangenen und des durch die Photosphäre durchgelassenen Lichtes.

Fast jede grosse Entdeckung wird gleichzeitig von verschiedenen Forschern angebahnt, und die Thatsache, dass einer derselben sie zuerst durch ein Experiment darlegte, ist nicht das Kennzeichen eines einzelnen Genies, sondern eines Genies, welches seiner Zeit voraus ist. So kam Foucault im Jahre 1849 nahe an die Entdeckung Kirchhoff's. Concentrirte er das Bild der Sonne auf den Volta'schen Lichtbogen und warf so das Spectrum des Bogens und der Sonne über einander, so fand er zwei helle Linien in dem Spectrum des Lichtbogens, die der Anwesenheit einer kleinen Verunreinigung der Kohlen mit Natrium oder der Gegenwart desselben in der Luft zuzuschreiben sind und welche mit den dunkeln Linien *D* des Sonnenspectrums übereinstimmen. Er fand, dass die Linien *D* selbst durch den Durchgang des Sonnen-

lichtes durch den Volta'schen Lichtbogen bedeutend verstärkt werden.

Statt des Bildes der Sonne projecirte er sodann auf den Lichtbogen das Bild einer der festen weissglühenden Kohlenspitzen, das für sich ein continuirliches Spectrum geben würde, und er fand, dass die Linien *D* in diesem Spectrum erzeugt wurden.

Foucault schloss aus diesem wunderbaren Experiment, dass der Lichtbogen ein Medium ist, welches für sich die Linien *D* aussendet und sie zu gleicher Zeit absorbiert, wenn sie von anderswo herkommen. Hiermit begnügte er sich. Er dehnte seine Beobachtungen nicht weiter aus, als bis zum Volta'schen Lichtbogen; er gab keine Erklärung der Fraunhofer'schen Linien; er gelangte zu keiner Betrachtung der Chemie der Sonne oder ihrer Zusammensetzung. Sein schöner Versuch bleibt ein Keim ohne Frucht, bis es mit Hülfe der Kritik sämmtlicher in dieses Gebiet einschlagender Phänomene Kirchhoff 10 Jahre später gelang, diese grossen Aufgaben zu lösen.

Bald nach der Veröffentlichung der Entdeckung Kirchhoff's entnahm Professor Stokes, der sie schon vor 10 Jahren beinahe anticipirt hätte, ein Beispiel von dem Schall, um die Reciprocität der Strahlung und Absorption zu zeigen. Eine gespannte Saite spricht bei Luftschwingungen an, die mit ihren eigenen gleichzeitig sind. Eine grosse Zahl solcher Saiten, die im Raume ausgespannt sind, würde etwa einem Medium entsprechen; und wenn der allen gemeinsame Ton in einer gemeinsamen Entfernung angeschlagen würde, so würden sie die demselben entsprechenden Schwingungen absorbiren. Das heisst, sie würden die Schwingungen absorbiren, die sie ausgeben können.

Wenn ein Violinbogen über diese Stimmgabel ge-

strichen wird, so füllt sich der Raum sogleich mit einem musikalischen Ton; man kann dies als eine Strahlung oder Ausgabe von Schallwellen durch die Stimmgabel ansehen. Vor einigen Tagen, als ich diese Stimmgabel anschluss, beobachtete ich, dass, als ihre Schwingungen gedämpft wurden, der Ton, wenn auch schwächer, doch anzudauern schien. Er schien mir von einem entfernten Tisch zu kommen, auf welchem eine Anzahl Stimmgabeln von verschiedener Grösse und Schwingungszahl stand. Eine derselben, und nur eine, war durch die tönende Gabel angeregt worden und zwar diejenige, deren Schwingungszahl die gleiche war mit der Schwingungszahl der tönenden Gabel. Dies ist ein Beispiel der Absorption des Tones einer Gabel durch die andere. Stellen wir zwei gleichgestimmte Gabeln nahe aneinander, fahren wir mit dem Bogen über eine derselben hinweg und dämpfen dann die angestrichene Gabel, so fährt die andere fort zu tönen. Sie kann die erste wieder erregen und so können verschiedene Uebertragungen des Schalles zwischen den beiden Gabeln bewirkt werden. Legen wir ein Geldstück auf die beiden Zinken der einen Gabel, so können wir ihren vollkommenen Einklang mit der andern vernichten, und dann ist keine Mittheilung des Tones von der einen zur andern möglich.

Ich muss Ihnen jetzt in geeigneter Form nachweisen, dass wir mit dem Licht dasselbe thun können, wie bisher mit dem Schall. Einige Male versuchte ich schon im Jahre 1861 dieses Experiment zu machen, indess nur mit theilweisem Erfolg. Ich erwärmte in eisernen Schüsseln ein Gemisch von verdünntem Alkohol und Kochsalz bis zum Sieden. Der Dampf wurde angezündet und durch die so erzeugte gelbe Flamme der Strahl der elektrischen Lampe gesendet, aber es zeigte sich nur eine schwache

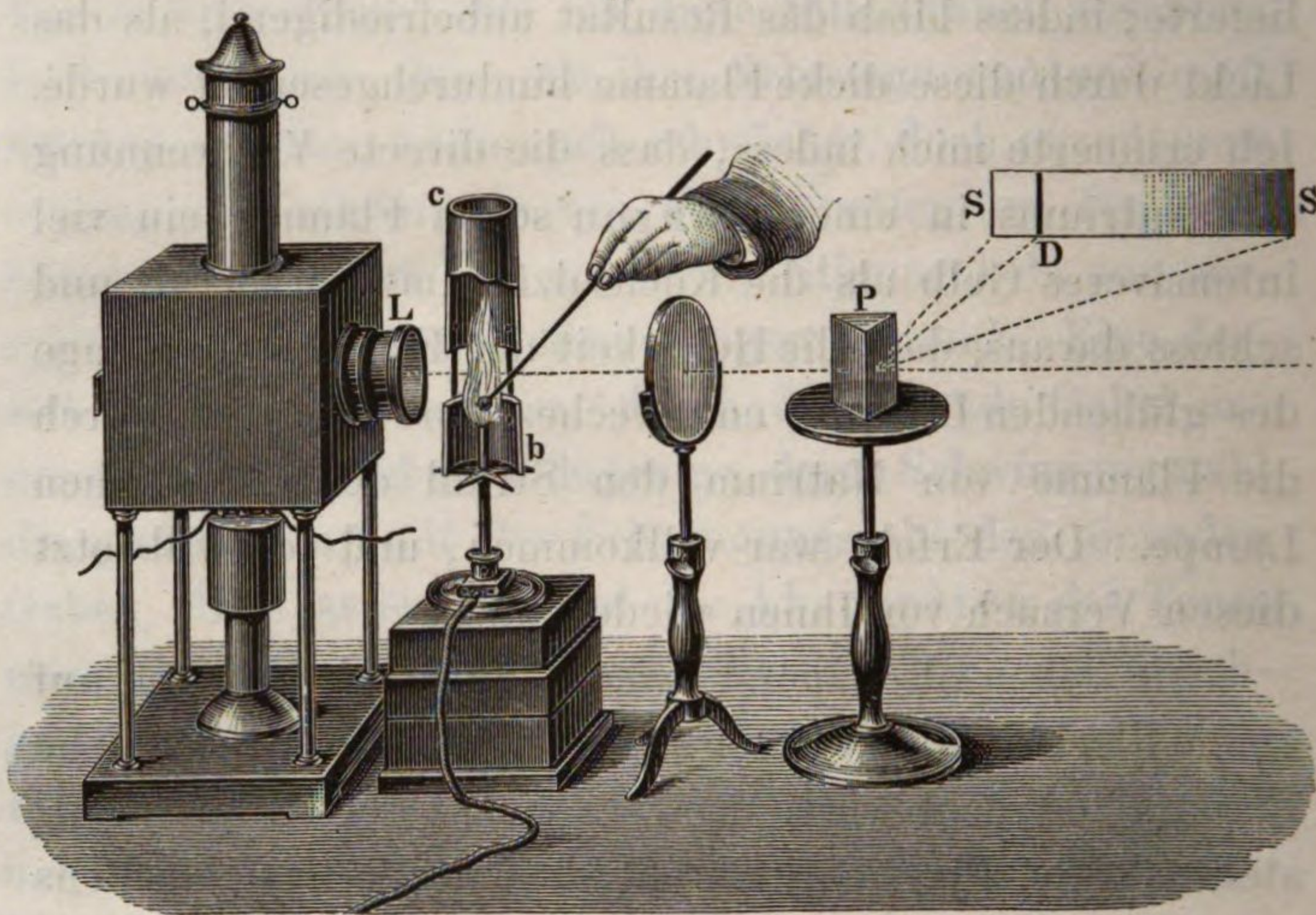
Verdunkelung des gelben Streifens in dem projecirten Spectrum. Es wurde sodann ein mit Salz und Alkohol gefüllter Trog angefertigt, der eine 10 Fuss dicke Flamme lieferte; indess blieb das Resultat unbefriedigend, als das Licht durch diese dicke Flamme hindurchgesendet wurde. Ich erinnerte mich indess, dass die directe Verbrennung des Natriums in einer Bunsen'schen Flamme ein viel intensiveres Gelb als die Kochsalzflamme hervorruft und schloss daraus, dass die Helligkeit der Flamme der Menge des glühenden Dampfes entspreche. So sendete ich durch die Flamme von Natrium den Strahl der elektrischen Lampe. Der Erfolg war vollkommen, und ich will jetzt diesen Versuch vor Ihnen wiederholen.

Sie sehen also zuerst, wenn ein Stück Natrium auf einem Blechlöffel in die schwach leuchtende Bunsen'sche Flamme gebracht wird, dass ein helles gelbes Licht entsteht, dessen Brechbarkeit mit dem des gelben Streifens im Spectrum übereinstimmt. Wie unsere Stimmgabel, giebt es Wellen von einer bestimmten Dauer aus. Wird das weisse Licht der elektrischen Lampe durch diese Flamme gesendet, so haben Sie den sichtbaren Beweis, dass die gelbe Flamme das Gelbe des Spectrums auffängt; dass sie in anderen Worten Wellen von derselben Länge, wie ihre eigenen, absorbirt und so nach aller Voraussicht einen dunkeln Fraunhofer'schen Streifen, statt des hellen gelben erzeugt.

Vor den Spalt bei *L* (Fig. 59 a. f. S.), durch den der Strahl fällt, ist ein Bunsen'scher Brenner (*b*) gestellt worden, den ein Schornstein (*C*) bedeckt. Der Strahl fällt, nachdem er durch eine Linse gegangen, durch ein Prisma *P* (bei dem eigentlichen Versuch benutzte man zwei), wird hier zerlegt und bildet ein lebhaftes, continuirliches Spectrum (*SS*) auf dem Schirm. Führen wir

einen Blechlöffel mit einem Stückchen Natrium in die Bunsen'sche Flamme ein, so schmilzt das Metall zuerst,

Fig. 59.



färbt die Flamme intensiv gelb und bricht zuletzt in lebhaftere Verbrennung aus. In demselben Augenblick wird das Spectrum durch einen dunkeln Streifen (*D*) gefurcht. Wird die Natriumflamme in rascher Aufeinanderfolge eingeführt und wieder herausgenommen, so zeigt sich das plötzliche Erscheinen und Verschwinden des dunkeln Streifens in überraschender Weise. Im Gegensatz zum angrenzenden Lichtglanz erscheint dieser Streifen absolut schwarz, so mächtig ist die Absorption. Die Schwärze ist jedoch nur relativ, denn es fällt noch ein Theil des Lichtes der Natriumflamme auf den dunkeln Raum.

Ich habe den Versuch von Foucault schon angeführt; doch sind noch andere Arbeiter in diesem Gebiete thätig gewesen, ehe es von Bunsen und Kirchhoff ausführlicher bearbeitet wurde. Abgesehen von wenigen

hier eingefügten Abänderungen habe ich schon an einem andern Orte in folgender Weise von den Vorläufern der Entdeckung der Spectralanalyse und Sonnenchemie gesprochen: „Herr Talbot hatte die glänzenden Linien in den Spectren der farbigen Flamme beobachtet, und sowohl er als auch Sir John Herschel deuteten auf die Möglichkeit hin, die prismatische Analyse zu einem chemischen Reagens von ausserordentlicher Empfindlichkeit, aber, wie es schien, nicht von vollständiger Zuverlässigkeit zu machen. Vor mehr als einem Viertel Jahrhundert gab Dr. Miller Zeichnungen und Beschreibungen der Spectra von verschiedenen farbigen Flammen. Wheatstone analysirte mit seiner gewohnten Schärfe das Licht des elektrischen Funkens und bewies, dass die Metalle, zwischen denen der Funke hindurch ging, die glänzenden Streifen im Spectrum des Funkens bestimmten. In einer Untersuchung, die Kirchhoff als „classisch“ bezeichnet, hat Swan gezeigt, dass $\frac{1}{2500000}$ eines Gramms Natrium in einer Bunsen'schen Flamme durch sein Spectrum gefunden werden könnte. Er zeigte auch die Constanz der hellen Linien im Spectrum der Kohlenwasserstoffflammen. Masson veröffentlichte eine Preisschrift über die Streifen des Inductionsfunken; während van der Willigen und noch später Plücker uns auch schöne Zeichnungen der Spectra von derselben Lichtquelle gegeben haben.

„Doch keiner dieser ausgezeichneten Männer verrieth die geringste Kenntniss der Beziehung zwischen den hellen Streifen des Metalles und den dunkeln Linien des Sonnenspectrums, noch konnte man sagen, dass die Spectralanalyse je vor den Versuchen von Bunsen und Kirchhoff auf irgend festem Boden stand. Der Mann, der in einer Abhandlung dem Grunde der Sache am

nächsten kam, war Angström. In dieser von mir selbst übersetzten und im Jahre 1855 in dem „Philosophical Magazine“ veröffentlichten Abhandlung deutet er an, dass die Strahlen, die ein Körper absorbirt, genau dieselben sind, die er ausstrahlen kann, wenn er leuchtend gemacht wird. An einer andern Stelle spricht er davon, dass eins seiner Spectra den Eindruck einer Umkehrung des Sonnenspectrums gemacht habe. Doch trägt seine Abhandlung, so wissenschaftlich sie auch ist, doch das Gepräge der Ungewissheit ihrer Zeit. Foucault, Thomson und Balfour Stewart waren alle nahe der Entdeckung, während, wie wir schon sagten, Stokes sie durch seine scharfe, aber nicht veröffentlichte Schlussfolgerung beinahe vollständig gemacht hätte.“

Geistig sowohl, wie physisch ist jedes Jahr der Welt der Sprössling und das Kind des vorgehenden Jahres. Die Wissenschaft beweist, dass sie das echte Product der Natur ist, wenn sie nach diesem Gesetz wächst. Wir haben hier keine Unterbrechung der Continuität. Alle grossen Entdeckungen werden auf zweierlei Art vorbereitet: erstlich durch andere Entdeckungen, die ihre Vorläufer bilden, und zweitens durch die Schärfung des forschenden Geistes. So wuchs Ptolemäus aus Hipparch, Copernicus aus beiden hervor, Kepler aus allen Dreien und Newton aus allen Vieren. Newton erhob sich nicht plötzlich von der „Meeresoberfläche des Geistes“ bis zu seiner staunenswerthen Höhe. Zur Zeit, da er erschien, war das geistige Hochland schon gehoben. Er steigt zwar über das Hochland als ein riesiger Fels auf; doch wird er von ihm getragen, und ein grosser Theil seiner absoluten Höhe ist die Höhe der Menschheit seiner Zeit. So ist es auch mit Kirchhoff's Entdeckungen. Vieles war schon vorher vollendet; dieses beherrschte er und ging dann

vermöge seines individuellen Genius darüber hinaus. Er ersetzte Ungewissheit durch Gewissheit, Unbestimmtes durch Bestimmtes, Verwirrung durch Ordnung; und ich glaube nicht, dass Newton ein sichereres Anrecht auf die Entdeckungen hat, die seinen Namen unsterblich gemacht haben, als Kirchhoff an dem Verdienst hat, das fragmentarische Wissen seiner Zeit in sich aufgenommen, es weiter ausgedehnt und ihm das Lebensprincip grosser Gesetze eingeflösst zu haben.

Mit einem letzten Zusatz wollen wir unsere Erläuterung der Gesetze der Sonnenchemie beschliessen. Die Sonne wird nicht scharf begrenzt gesehen, sondern sie ist von einem leuchtenden Schein umgeben, Dank der Zerstreuung des Lichtes durch die Materie, die mechanisch in der Erdatmosphäre schwimmt. Wie ein lautes Geräusch ein Flüstern übertönt und ein intensives Licht ein schwaches verdunkelt, so hindert uns dieser Glanz rings um die Sonne, viele wunderbare Erscheinungen am Rande der Sonne zu sehen. Der Glanz wird in totale Finsterniss verwandelt, wenn der Mond zwischen die Sonne und die Erde tritt, und dann sieht man eine Reihe von rosa-gefärbten Protuberanzen, die sich oft zehn Tausende von Meilen jenseits des dunkeln Randes des Mondes erstrecken. Vassenius hat sie in den „Philosophical Transactions“ von 1733 beschrieben; doch wurden sie wahrscheinlich schon früher beobachtet. Sie erregten im Jahre 1842 grosse Aufmerksamkeit und wurden damals mit den Schneespitzen der Alpen, wenn diese in der Abendsonne glühten, verglichen. Dass diese Vorsprünge brennendes Gas und besonders Wasserstoffgas seien, bewies Herr Janssen während einer Sonnenfinsterniss, die am 18. August 1868 in Indien beobachtet wurde.

Doch können diese Protuberanzen auch im vollen Sonnenschein sichtbar gemacht werden und zwar aus einer leichtverständlichen Ursache. Sie haben in diesen Vorlesungen gesehen, dass wir ein einziges Prisma benutzten, um ein Spectrum hervorzurufen, aber auch, dass einmal zwei derselben angewendet wurden. Im letztern Fall, wo das dispergirte weisse Licht über die doppelte Fläche vertheilt wird, waren alle seine Farben im Verhältniss verdünnt. Sie haben auch ein Paar Prismen dazu verwenden sehen, um Streifen von weissglühenden Dämpfen hervorzurufen; aber hier, wo das Licht jedes Streifens absolut einfarbig war, war es einer weitem Dispersion durch das zweite Prisma unzugänglich und konnte daher nicht durch weitere Dispersion abgeschwächt werden.

Wenden Sie diese Beobachtungen auf die die Sonne umgebende Region an. Der Glanz des weissen Lichtes um die Sonne kann bis auf jedes Maass zerstreut und geschwächt werden, wenn man die Zahl der Prismen vermehrt, während ein einfarbiges Licht, welches mit dem Glanz gemischt und durch ihn verdeckt ist, seine Intensität ungeschwächt durch die Dispersion bewahrt. Auf diese Beobachtung hat man eine Untersuchungsmethode begründet, die unabhängig von einander Janssen in Indien und H. Lockyer in England anwendeten, bei der die einfarbigen Streifen der Protuberanzen zur Herrschaft gelangen und bei hellem Tageslicht sichtbar sind.

Es würde uns weit über das Gebiet dieser Vorlesungen hinaus führen, wollten wir noch die vielen interessanten und wichtigen Resultate besprechen, die Secchi, Respighi, Young und andere ausgezeichnete Männer erzielt haben, die sich mit der Chemie der Sonne u. s. f. beschäftigt haben. Auch kann ich jetzt nur flüchtig der ausgezeichneten Arbeiten von Dr. Huggins über die

Fixsterne, Nebelflecken und Kometen gedenken. Sie begründen mehr als alle anderen Forschungen die Wahrheit der Behauptung, dass die Entdeckung der Spectralanalyse und die Erklärung der Fraunhofer'schen Linien die chemischen Forschungen ins Unbegrenzte erweiterte. Meine Absicht ist hier mehr, Gesetze klar zu machen, als ihnen in die Einzelheiten ihrer Begründung zu folgen. Dieses Letztere würde eine Aufgabe sein, die mehr Zeit zu ihrer Lösung beanspruchte, als ich im Augenblick zur Verfügung habe.

Uebersicht und Schluss.

Es war mein Wunsch, Ihnen in diesen Vorlesungen so zusammenhängend wie möglich Einiges aus der früheren Entwicklung und dem gegenwärtigen Standpunkt eines Gebietes der Wissenschaft zu geben, in dem mehrere der bedeutendsten Forscher gearbeitet haben, die die Welt je gesehen. Als mich mein Freund Professor Henry in Washington einführte, sprach er von mir als von einem Apostel; das einzige Apostelamt aber, das ich übernehmen konnte, war, vor Ihnen in leicht verständlichen Worten meinen Stoff zu behandeln, der dann mit seiner eigenen fesselnden Anziehungskraft auf Sie einwirken sollte. Ich habe gesucht, jedem Versuch eine klare und verständliche Bedeutung beizulegen, denn Versuche sollen die Repräsentanten und Ausleger des Gedankens sein — eine Sprache, die sich an das Auge wendet, wie die Worte an das Ohr. Im Zusammenhang mit der wissenschaftlichen Deduction wirkt nichts eindringlicher und belehrender als ein passender Versuch; von seinem Zusammenhang getrennt, dient er mehr dem Zweck des Zauber-

künstlers, zu überraschen, als jenem Zweck der Bildung, der der leitende Beweggrund der Wissenschaft sein sollte.

Eine kurze Uebersicht unserer Arbeit wird jetzt wohl am Orte sein. Unsere jetzige Kenntniss der Gesetze und Erscheinungen des Lichtes müssen wir dem Wissensdrang des Menschen zuschreiben. Wir haben gesehen, mit welchem Eifer sich die Alten mit diesem Problem beschäftigten, aber sie thaten es wie Kinder, die ihre Arme nutzlos abmühen, weil sie noch nicht ihre Muskeln geübt haben; und so konnten diese ersten Forscher auch nur unklar und unbestimmt über das Licht speculiren, da sie noch nicht die nöthige Schulung hatten, um ihren Anschauungen Klarheit, ihrer Erkenntniss der Gesetze Sicherheit zu geben. Sie überzeugten sich von der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes und von dem Gesetze, dass der Einfallswinkel dem Reflexionswinkel gleich sei. Länger als tausend Jahr — ich kann wohl sagen, länger als fünfzehnhundert Jahre nachher — schien dann der wissenschaftliche Forschungstrieb wie paralysirt zu sein, da in der That die geistige Kraft, die sich der Wissenschaft hätte widmen können, in andere Richtungen gelenkt wurde.

Im Jahre 1100 nahm ein arabischer Forscher, Alhazen, die Untersuchung des Lichtes wieder auf. Dann beschäftigten sich nach einander Roger Bacon, Vitellio und Kepler damit. Obgleich es diesen Männern nicht gelang, das Gesetz zu finden, das die Thatsachen beherrschte, so erhielten sie doch das Feuer der Forschung stets in Brand. Dann kam die fundamentale Entdeckung Snell's, dieser Eckstein der Optik, wie ich sie schon genannt habe, und gleich darauf erhielten wir durch Descartes die Anwendung der Snell'schen Entdeckung auf die Erklärung des Regenbogens. Danach stürzt

Römer die Ansicht Descartes' um, dass das Licht momentan durch den Raum fortgepflanzt würde. Dann kamen die krönenden Versuche Newton's über die Analyse und Synthese des weissen Lichtes, durch die bewiesen wurde, dass dasselbe aus verschiedenen Arten von Licht von verschiedenen Brechbarkeitsgraden zusammengesetzt sei.

Bis zu seiner Erklärung der Zusammensetzung des weissen Lichtes war Newton überall siegreich gewesen, siegreich im Himmel, siegreich auf Erden, und seine folgenden experimentellen Arbeiten sind zum grössten Theil von unsterblichem Werth. Unfehlbarkeit ist aber nicht die Gabe des Menschen, und als Mensch offenbarte sich Newton bald nach seiner Entdeckung der Beschaffenheit des weissen Lichtes. Er nahm an, dass Brechung und Dispersion Hand in Hand gingen und dass man nicht die eine vernichten könnte, ohne zugleich auch die andere zu zerstören. Hier verbesserte ihn Dollond.

Aber Newton beging einen noch grössern Irrthum als diesen. Die Wissenschaft gehört, wie ich Ihnen schon in unserer zweiten Vorlesung klar zu machen suchte, nur zum Theil der Sinnenwelt an. Die Wurzeln der Erscheinungen liegen in einer Region jenseits der Grenzen der Sinne, und nichts Geringeres als die Wurzel der Dinge kann den wissenschaftlichen Geist befriedigen. So finden wir natürlich, dass auch auf dem Wege der optischen Erscheinungen die grössten Geister immer danach streben, die Grenzen der Sinne zu durchbrechen und die Erscheinungen bis zu ihren übersinnlichen Quellen zu verfolgen. So angeregt, betraten sie das Reich der Theorie, und hier wurde Newton, obgleich er von Zeit zu Zeit zur Wahrheit gelenkt wurde, doch noch mächtiger zum Irrthum hingezogen, dem er sich denn auch ganz überliess. Seine Versuche sind unvergänglich, aber seine Theorie

ist untergegangen. Ein Jahrhundert hindurch stand sie wie ein Damm der weiteren Forschung entgegen; aber, gleich allen Hindernissen, die nur auf der Autorität und nicht auf der Wahrheit beruhen, nahm der Druck allmählich zu und riss den Damm endlich mit fort. Dieses geschah, wie Sie wissen, hauptsächlich durch die Arbeiten von Thomas Young und seinem berühmten Mitarbeiter Fresnel.

Malus entdeckte im Jahre 1808 die Polarisation des Lichtes durch Reflexion, als er durch einen Doppelspath nach der Sonne sah, die vom Fenster des Luxemburg-Palastes in Paris reflectirt wurde. Arago entdeckte im Jahre 1811 die glänzenden Farbenerscheinungen, die wir durch Gypsplatten in polarisirtem Licht dargestellt haben; er entdeckte auch die Rotation der Polarisationsebene bei den Quarzkrystallen. Seebeck entdeckte im Jahre 1813 die Polarisation des Lichtes durch Turmalin. Im selben Jahr entdeckte Brewster die schönen Farbenringe, die die Axen der zweiaxigen Krystalle umgeben. Wollaston entdeckte im Jahre 1814 die Ringe des Doppelspaths. Alle diese Wirkungen, die ohne den theoretischen Schlüssel den menschlichen Geist in einem Gewirr von Erscheinungen ohne Harmonie oder Zusammenhang lassen würden, wurden durch die Undulationstheorie organisch zusammengefasst.

Die Theorie wurde nach allen Richtungen geprüft und wahr befunden, und besonders zeichnete sich Airy durch die Strenge und Endgültigkeit seiner Beweise aus. Die bedeutendste Bestätigung verdanken wir dem verstorbenen Sir William Hamilton aus Dublin, der die Theorie da aufnahm, wo sie Fresnel gelassen hatte, und zu dem Schlusse kam, dass an vier speciellen Punkten an der Oberfläche der Aetherwelle in doppelt brechenden Kry-

stallen der Strahl sich nicht nur in zwei Theile, sondern in eine unendliche Anzahl von Theilen theilte, die an diesen Punkten eine continuirliche kegelförmige Hülle statt zweier Bilder darstellen. Kein menschliches Auge hatte je diese Hülle gesehen, als Sir William Hamilton auf ihr Dasein schloss. Er bat Dr. Lloyd, durch Versuche die Wahrheit dieses theoretischen Schlusses zu prüfen. Lloyd nahm einen Arragonitkrystall und folgte mit der gewissenhaftesten Genauigkeit den Angaben der Theorie, er zerschnitt den Krystall da, wo die Theorie es verlangte, beobachtete ihn da, wo die Theorie ihn beobachtet haben wollte, und entdeckte die leuchtende Hülle, die bis dahin nur als reiner Gedanke im Geist des Mathematikers bestanden hatte.

Nichtsdestoweniger musste die wichtige Undulationstheorie, die sich allmählich als ein Segen für die Menschheit herausstellte, erst durch heftige Kämpfe ihr Recht zum Dasein erlangen. Grosse Namen hatten sich gegen sie gerüstet. Sie war von Hooke anerkannt worden, Huyghens hatte sie angewendet, Euler hatte sie vertheidigt. Sie machten aber keinen Eindruck. Und in der That gründete sich die Theorie in ihren Händen mehr auf eine Analogie als auf einen Beweis. Sie nahm zuerst in den Händen von Thomas Young die Form einer bewiesenen Wahrheit an. Er liess die Lichtwellen aufeinander wirken, dass sie sich nach seinem Willen addiren und auslöschen mussten. Nach ihrer gegenseitigen Wirkung bestimmte er ihre Längen und wandte seine Bestimmungen nach allen Richtungen hin an. Er zeigte, dass auch die noch bestehende Schwierigkeit, die Erklärung der Polarisation, in die Theorie einbegriffen wäre.

Nach ihm kam Fresnel, dessen transcendente mathematische Begabung ihn befähigte, der Theorie eine All-

gemeinheit zu geben, die Young unerreichbar blieb. Er ergriff die Theorie im Ganzen; folgte dem Aether ins Herz der complicirtest gebauten Krystalle und in Körper, die der Dehnung und dem Druck unterworfen waren. Er zeigte, dass die von Malus, Arago, Brewster und Biot entdeckten Thatsachen so zu sagen ebenso viele Nervencentra seines theoretischen Organismus seien, die in ihm beständen und Erklärung fänden. Er war mit einem Geiste begabt, der viel zu gewaltig für den Körper war, mit dem er verbunden war; und so wurde dieser Körper ein Wrack, lange vor dem normalen Alter. Fresnel starb und hinterliess einen in den Annalen der Wissenschaft unsterblichen Namen.

Ich möchte in Betreff Fresnel's noch ein Wort sagen. Es giebt Dinge, die noch mehr werth sind, als die Wissenschaft. Höher als der Verstand steht der Charakter; für diejenigen, die von der menschlichen Natur gern hoch denken, ist es besonders erfreulich, wenn grosser Verstand mit einem edlen Charakter verbunden ist. Sie waren, so viel ich weiss, in diesem jungen Franzosen vereint. In den heissen Kämpfen um die Undulationstheorie stand er als ein rechtschaffener Mann da, der nichts mehr verlangte, als sein Recht, und gern bereit war, auch Anderen ihr Recht zu gewähren. Er verstand und erkannte sogleich die Verdienste von Thomas Young an. Er und sein Landsmann Arago waren es in der That, die zuerst in England das Bewusstsein der Ungerechtigkeit, die man Thomas Young in der Edinburgh Review gethan hatte, wach rüttelten. Ich möchte Ihnen einen kurzen Absatz aus einem Brief vorlesen, den Fresnel im Jahre 1824 an Young geschrieben hat; er wirft ein erfreuliches Licht auf den Charakter des französischen Naturforschers: „Seit langer Zeit,“ sagt Fresnel,

„ist diese Empfindsamkeit oder diese Eitelkeit, die das Volk Liebe zum Ruhm nennt, sehr in mir abgestumpft worden. Ich arbeite weit weniger, um die Lobeserhebungen des Publicums zu gewinnen, als um den innern Beifall zu finden, der mir immer der süsseste Lohn für alle meine Anstrengungen war. Sicher habe ich oft in Augenblicken des Missmuths und der Entmuthigung den Sporn der Eitelkeit gebraucht, um mich von Neuem zu meinen Untersuchungen anzufeuern. Aber alle Lobeserhebungen, die ich von Arago, de la Place und Biot erhielt, haben mir nie so viel Freude gemacht, als die Entdeckung einer theoretischen Wahrheit oder die Bestätigung irgend einer Berechnung durch den Versuch.“

Dies ist das innerste Wesen der Wissenschaft. Sie muss um ihrer selbst willen gepflegt werden, um der reinen Liebe zur Wahrheit, weit mehr als um des Beifalls oder des Verdienstes willen, den sie mit sich bringt. Meine Thätigkeit in Amerika ist nun fast vollendet. Doch möchte ich Ihre Geduld noch für wenige Bemerkungen über die Männer in Anspruch nehmen, die uns die grosse Fülle des Wissens vermacht haben, von der ich Ihnen in diesen Vorlesungen einen schwachen Begriff geben wollte. Was war der Beweggrund, der sie anspornte? Was trieb sie zu jenen Kämpfen und Siegen über die widerstrebende Natur, die das Erbe der Menschheit geworden sind? Man darf es nie vergessen, dass nicht einer dieser grossen Forscher von Aristoteles bis auf Stokes und Kirchhoff irgend ein in der gewöhnlichen Bedeutung des Wortes praktisches Ziel vor Augen hatte. Keiner betrachtete den Geldverdienst als das Ziel seines Strebens und das Wissen als ein Mittel dazu. Zum grössten Theil kehrten sie den Process um, setzten das

Wissen als Ziel und verwandten das Geld, das sie besaßen, als Mittel, um es zu erreichen.

Wir können heut zu Tage die Resultate ihrer Arbeit in tausend praktischen Formen sehen, und es möchte dies als genügend erscheinen, um ihre Anstrengungen nicht nur zu rechtfertigen, sondern noch zu veredeln. Sie arbeiteten aber nicht für solche Resultate; ihr Lohn war von anderer Art. Wie aber von anderer Art? Wir lieben Kleider, wir lieben den Luxus, wir lieben schöne Wagen, wir lieben Geld, und jeder Mensch, der darauf als die Resultate seiner Arbeit im Leben hinweisen kann, rechtfertigt diese Resultate vor aller Welt. Er ist besonders in England und Amerika ein „praktischer“ Mensch. Doch möchte ich mich vertrauensvoll an diese Versammlung mit der Frage wenden, ob diese Dinge die Forderungen der menschlichen Natur vollkommen befriedigen? Schon die einfache Gegenwart dieser Versammlung hier, die einen so bedeutenden Theil des geistigen Lebens und der Bildung dieser grossen Stadt repräsentirt, an sechs unfreundlichen Abenden, ist eine Antwort auf meine Frage. Ich brauche einer solchen Versammlung nicht erst zu sagen, dass es sowohl leibliche Genüsse, als auch geistige Genüsse giebt, und dass die Freuden des Geistes den Lohn unserer grossen Forscher ausmachten. Von dem Flüstern der Naturwahrheit vorwärts getrieben, verfolgten sie oft durch Schmerz und Selbstaufopferung ihre Arbeit. Selbst im Tode noch von dieser Leidenschaft beherrscht, dictirten viele von ihnen, wenn sie die Feder nicht mehr halten konnten, ihren Freunden die Resultate ihrer Arbeit und legten sich dann für immer zur Ruhe.

Hätten wir diese Männer an der Arbeit sehen können, ohne irgend eine Kenntniss der Erfolge ihrer Arbeit, was würden wir von ihnen gedacht haben? Den Uneingeweihten

ihrer Zeit mögen sie oft wie grosse Kinder vorgekommen sein, die mit Seifenblasen und anderen Spielsachen spielten. Es ist noch so bis auf den heutigen Tag. Könnten Sie den wahren Forscher — Ihren Henry oder Ihren Draper — in seinem Laboratorium heimlich belauschen, Sie würden, wenn Sie nicht von seinem Geist erfüllt wären, kaum verstehen, was ihn dort fesselt. Viele der Gegenstände, die seine Aufmerksamkeit in Anspruch nehmen, würden Ihnen ganz kleinlich erscheinen, und würden Sie ihn fragen, welches der Nutzen seiner Arbeit sei, so würden Sie ihn wahrscheinlich sehr in Verlegenheit setzen. Er würde kaum im Stande sein, Ihnen den Nutzen in verständlichen Worten auszudrücken. Er könnte Ihnen keine Sicherheit bieten, dass sie auch nur einen Thaler in irgend eines lebenden oder kommenden Menschen Tasche schaffen könnte. Dass aber diese wissenschaftlichen Entdeckungen möglicher Weise nicht nur Thaler den einzelnen Menschen verschaffen, sondern Millionen den Schatzkammern der Nationen, das hat die Geschichte der Wissenschaft des Oefftern bewiesen; doch kann die Hoffnung auf diesen Erfolg nie die treibende Kraft des Forschers gewesen sein oder fernerhin sein.

Ich weiss, dass ich einige Gefahr laufe, wenn ich so vor Männern der Praxis rede. Ich weiss, was De Tocqueville über Sie sagt. „Der Mann des Nordens,“ sagte er, „hat nicht nur die Erfahrung, sondern auch das Wissen. Er kümmert sich indess nicht um die Wissenschaft als Genuss, sondern erfasst sie nur mit Eifer, wenn sie zu nützlichen Anwendungen führt.“ Und doch möchte ich fragen, welches sind die nützlichen Anwendungen, auf die Sie hoffen, wenn Sie diesen Ort so oft trotz Schneefalls und bitterer Kälte aufgesucht haben? Welches, möchte ich fragen, ist der Ursprung der freundlichen Aufforderungen, die mich

von meiner Arbeit in London fortzogen, um hier vor Ihnen zu reden, und die, wenn ich es zugäbe, mich als Millionär heimschicken würden? Ich bin heute nicht hier, weil ich Sie gelehrt habe einen einzigen Cent durch die Wissenschaft zu verdienen, sondern weil ich nach meinen besten Kräften gestrebt habe, der Welt die Wissenschaft als ein geistiges Gut zu zeigen. Nie sind gewiss zwei Ausdrücke so verkehrt und in Bezug auf die höheren Ziele des Menschen so falsch angewendet worden, als die Worte: nützlich und praktisch. Wir wollen in dieselben alle, auch die höchsten intellectuellen Bedürfnisse des Menschen einbegreifen; dann muss ich gerade darum, weil die Wissenschaft diesen höchsten Bedürfnissen des Geistes dient und weil ich sie sowohl als Quelle des Wissens als auch als Mittel der Erziehung für förderlich erachte, hervorheben, wie sehr sie Ihre Aufmerksamkeit in Anspruch nehmen muss.

Doch hat die reine Wissenschaft gewiss auch ein Wort mitzureden, wenn man von materiellen Bedürfnissen und Freuden spricht. Die Menschen reden oft, als ob man den Dampf nicht vor James Watt oder die Electricität vor Wheatstone und Morse untersucht hätte; während in der That Watt, Wheatstone und Morse mit all ihrer praktischen Begabung nur das Resultat der vorhergegangenen Forscher verwertheten, die ohne Beziehung auf praktische Verwerthung arbeiteten. Auch dieser Ausspruch verdient noch eine kurze Betrachtung. Sie sind begeistert, und mit gutem Recht, für Ihre elektrischen Telegraphen, Sie sind stolz auf Ihre Dampfmaschinen und Fabriken und entzückt von den Schöpfungen der Photographie. Sie sehen täglich mit berechtigtem Stolz die Schöpfung neuer Industriezweige — neuer Kräfte, die den Wohlstand und die Behaglichkeit der Menschheit mehren. Das industrielle England arbeitet mit allen Kräften diesem Ziele

zu, und noch stärker schlägt der Puls der Industrie in den Vereinigten Staaten. Und was, wenn Sie es analysiren, ist das industrielle Amerika und was das industrielle England?

Wenn Sie ein freies Wort von mir ertragen können, will ich Ihnen diese Frage durch ein Bild beantworten. Entblößen Sie einen kräftigen Arm und betrachten Sie die gespannten Muskeln, wenn die Hand geballt und der Arm gebogen ist. Sind diese Zeichen von Kraft nur die Leistung der Muskeln? Keineswegs. Der Muskel ist der Träger einer höhern Kraft, ohne die er so machtlos sein würde, wie ein Stück plastischen Thons. Der zarte unsichtbare Nerv ist es, der die Kraft des Muskels löst. Und ohne diese feinen Fäden des Genius, die wie Nerven durch den Körper der Menschheit von dem selbstständigen Forscher gezogen worden sind, würde das industrielle Amerika und das industrielle England ungefähr in der Verfassung des plastischen Thones sein.

In der jetzigen Zeit geht ein Ruf nach technischer Ausbildung durch England, und es ist ein Ruf, in den der unbedeutendste Verstand mit einstimmen kann, so offenkundig ist das Bedürfniss. Aber es ergeht kein Ruf nach schöpferischer Forschung. Und doch, so sicher wie der Strom kleiner wird, wenn die Quelle schwindet, so wird auch die technische Erziehung ohne diese bleibende Kraft alle Befähigung zur Reproduction verlieren. Unsere grossen Forscher haben uns für einige Zeit genügende Arbeit gegeben; wenn aber ihr Geist ausstirbt, so werden wir uns in einer ähnlichen Lage wie die Chinesen befinden, von denen De Tocqueville erzählt, dass sie den wissenschaftlichen Urquell ihrer Leistungen vergessen haben, und deshalb zuletzt genöthigt waren, die Entdeckungen ihrer Vorfahren ohne Veränderung nachzuahmen, die,

weiser als sie selbst, ihre Inspirationen direct der Natur entlehnt hatten.

Sowohl England wie auch Amerika haben alle Ursache, dies im Gedächtniss zu behalten, denn die Grösse und die Nähe der materiellen Erfolge sind zu verlockend, um nicht beide Länder vergessen zu lassen, wie klein die geistigen Anfänge solcher Resultate im Geist des wissenschaftlichen Forschers sind. Sie vervielfältigen, aber er schafft. Und wenn Sie ihn darben lassen oder sonstwie tödten — ja, wenn Sie nur versäumen, ihm freien Spielraum und Aufmunterung zu geben — dann verlieren Sie nicht nur die bewegende Kraft des geistigen Fortschrittes, sondern trennen sich auch sicher von den Quellen des industriellen Lebens.

Was ich von den technischen Operationen gesagt habe, gilt ebenso für die Erziehung, denn auch hier bildet der ursprüngliche Forscher den Urquell des Wissens. Dem Lehrer kommt es zu, diesem Wissen die entsprechende Form zu geben; eine ehrenvolle und oft schwere Aufgabe. Doch ist es eine Aufgabe, die ihre endliche Heiligung darin findet, wenn der Lehrer selbst mit allen Kräften sucht, ein kleines Bächlein zum grossen Strom der wissenschaftlichen Entdeckungen hinzuzufügen. Man könnte in der That bezweifeln, ob das wirkliche Leben der Wissenschaft von einem Manne richtig empfunden und mitgetheilt werden kann, der nicht durch directen Verkehr mit der Natur selbst unterrichtet worden ist. Wir können unzweifelhaft gute und belehrende Vorlesungen von geschickten Männern hören, die ihr ganzes Wissen erst aus zweiter Hand haben, ebenso gut wie wir gute und belehrende Predigten von geistig tüchtigen aber nicht schöpferischen Männern hören können. Aber soll den Vorlesungen die Kraft der Wissenschaft innewohnen,

welche dem entspricht, was Ihre puritanischen Vorfahren „die experimentelle Religion im Herzen“ nennen würden, so müssen Sie bis zum ursprünglichen Forscher hinaufgehen.

Um die Menschheit in wissenschaftlicher Beziehung in gesundem Zustand zu erhalten, braucht man drei Classen von Arbeitern: Zuerst den Erforscher der Naturwahrheiten der Natur, dessen Beruf es ist, diese Wahrheiten zu verfolgen und das Feld der Entdeckungen um dieser Wahrheiten willen zu vergrössern, ohne Beziehung auf praktische Zwecke. Zweitens den Lehrer der naturwissenschaftlichen Wahrheiten, dessen Beruf es ist, der schon durch den Entdecker gewonnenen Erkenntniss eine allgemeinere Verbreitung zu geben. Endlich die Männer, die die Naturwahrheiten anwenden, deren Beruf es ist, die wissenschaftliche Erkenntniss für die Bedürfnisse, die Bequemlichkeiten und den Luxus des Lebens nutzbar zu machen. Diese drei Classen sollten zusammen leben und wirken. Nun richten sich aber die allgemein verbreiteten Vorstellungen von der Wissenschaft sowohl in diesem Lande, wie in England, nicht auf die eigentliche Wissenschaft, sondern auf ihre Anwendungen. Die derartigen Anwendungen sind, namentlich auf diesem Continent, so erstaunlich, sie bieten sich in so reichem Maasse und so klar dem Auge der Menge dar, dass sie die Arbeiter dem Blicke entzieht, die sich der stillern und tiefern Thätigkeit der originalen Forschung gewidmet haben.

Nehmen Sie den elektrischen Telegraphen als ein Beispiel, welches sich uns in der letzten Zeit oft dargeboten hat. Ich bin weit entfernt, hier auch nur im Geringsten die Verdienste derer heruntersetzen zu wollen, welche in England und Amerika dem Telegraphen eine für seinen öffentlichen Gebrauch so wunderbar geeignete Gestalt

gegeben haben. Sie verdienten eine grosse Belohnung und haben sie sicher erhalten. Indess würde ich mir selbst untreu werden und Ihnen die Wahrheit verhehlen, wenn ich Ihnen nicht sagte, dass die Praktiker, so hoch in besonderer Beziehung ihre Befähigung und ihre Leistungen auch stehen mögen, doch den elektrischen Telegraphen nicht entdeckten. Die Entdeckung des elektrischen Telegraphen setzt die Entdeckung der Elektricität, ihrer Gesetze und Wirkungen voraus. Solche Entdeckungen werden nicht von Praktikern gemacht und werden auch nie von ihnen gemacht werden, da ihr Geist mit Ideen erfüllt ist, die in einer bestimmten Beziehung freilich vom höchsten Werth sind, aber nicht den ursprünglichen Entdecker anregen.

Die Alten entdeckten die Elektricität des Bernsteins, und Gilbert dehnte im Jahre 1600 diese Entdeckung auf andere Körper aus. Dann folgten andere Forscher, Ihr Franklin unter ihnen. Aber diese Art der Elektricität kam ungeachtet mancher Versuche für telegraphische Zwecke nicht zur Anwendung. Dann erschien der grosse Italiener Volta, der die Quelle der Elektricität entdeckte, welche seinen Namen trägt, und die tiefste Einsicht und feinste experimentelle Geschicklichkeit auf ihre weitere Erforschung verwendete. Dann erhob sich der Mann, welcher mit der Grösse seines Genius alle Vorzüge der menschlichen Herzensbildung vereinte, Michael Faraday, der Entdecker des grossen Gebietes der Magnetelektricität. Oersted entdeckte die Ablenkung der Magnetnadel und Arago und Sturgeon die Magnetisirung des Eisens durch den galvanischen Strom. Endlich fand die theoretische Betrachtung des galvanischen Stromkreises ihren Newton in Ohm, während Henry in Princeton, der den Scharfsinn besass, die Verdienste Ohm's zu durchschauen, während sie noch in seinem

eigenen Vaterlande unterschätzt wurden, schon damals unter den experimentellen Forschern einen hervorragenden Rang einnahmen.

Sie finden in den Arbeiten dieser Männer alle die Materialien, die bis jetzt in allen Formen des elektrischen Telegraphen angewendet worden sind. Nein, mehr noch; Gauss, der berühmte Mathematiker und Astronom, und Weber, der berühmte Physiker, beide Professoren an der Universität zu Göttingen, wünschten zwischen dem Observatorium und dem physikalischen Cabinet der Universität schnell mit einander zu correspondiren, und thaten dies vermitteltst des elektrischen Telegraphen. So war, ehe die Praktiker auf dem Schauplatz erschienen, die Kraft entdeckt, es waren ihre Gesetze untersucht und festgestellt worden, die vollständige Beherrschung ihrer Erscheinungen erreicht — ja, ihre Anwendung für telegraphische Zwecke gezeigt — und zwar durch Männer, deren einziger Lohn für ihre Arbeiten die edle Aufregung des Forschens und die Freude an der Entdeckung der Naturwahrheiten war.

Sollen wir das Alles unbeachtet lassen? Wir thäten es auf unsere eigene Gefahr, denn ich wiederhole es, hinter all unseren praktischen Anwendungen liegt eine Region geistiger Arbeit, in die die Praktiker sich nur selten hineinwagen, aus der sie aber alle ihre Kraft schöpfen. Schneiden Sie sie von dieser Region ab, und sie werden hüllos. In keinem Fall ist das Wort wahrer: „Andere arbeiteten, aber Ihr tratet in ihre Arbeit ein,“ als bei dem Entdecker und dem Verwerther der Naturwahrheiten. Und jetzt noch ein Wort nach der anderen Seite. Wenn ich sage, dass die Praktiker nicht die Männer sind, um dienöthigen vorangehenden Entdeckungen zu machen, so sind auch die Fälle selten, wo der Entdecker weiss, auf welche Weise er seine Arbeiten prak-

tisch verwerthen soll. Verschiedene geistige Eigenschaften und verschiedene Denkrichtungen sind zu beiden nöthig; und wenn ich hier besonders die Ansprüche derjenigen betone, von denen man nicht begreift, dass sie nur in Folge ihrer geistigen Höhe eine bedeutende Stellung einnehmen, so will ich nicht die eine Classe der Arbeiter auf Kosten der andern erheben. Sie müssen sich nothwendig ergänzen; doch vergessen Sie nicht, dass für die eine Classe schon gesorgt ist. Alle materiellen Belohnungen der Gesellschaft sind schon in ihrem Besitz, während dieselbe Gesellschaft ihnen auch gewöhnlich geistige Vorzüge zuschreibt, die ihnen gar nicht zukommen. Diese können nur durch jene tieferen Studien erworben werden, aus denen nicht nur unsere Kenntniss der Natur, sondern auch selbst unsere jetzigen industriellen Künste entsprungen sind, und von denen der aufsteigende Genius des Landes immer wieder fortgelenkt wird.

Pasteur, eines der bedeutendsten Mitglieder der französischen Akademie, äussert sich, als er von dem verderblichen Sturz seines Landes und der Uebermacht Deutschlands im letzten Kriege spricht, folgendermaassen: „Wenige Menschen verstehen den eigentlichen Ursprung der Wunder der Industrie und des Reichthums der Nationen. Ich brauche keinen weiteren Beweis dafür, als die immer häufiger vorkommende Anwendung des falschen Ausdruckes: angewandte Wissenschaft in der officiellen Sprache, sowie in allen möglichen Schriften. Es wurde in Gegenwart eines hoch begabten Ministers vor Kurzem bedauert, dass die wissenschaftlichen Laufbahnen von Männern verlassen werden, die sie mit Auszeichnung verfolgen könnten. Dieser Staatsmann bemühte sich zu zeigen, dass wir über ein solches Resultat uns nicht zu verwundern brauchten, denn in unseren Tagen

wiche das Reich der theoretischen Wissenschaft dem der angewandten Wissenschaft. Nichts kann irriger sein, als diese Ansicht, nichts, möchte ich sagen, gefährlicher, selbst für das praktische Leben, als die Folgen, die aus diesen Worten entstehen könnten. Sie blieben in meiner Erinnerung haften, als Beweis der dringenden Nothwendigkeit einer Reform unserer höheren Bildungsanstalten. Es giebt keine Abtheilung in der Wissenschaft, der man den Namen „angewandte Wissenschaft“ mit Recht beilegen könnte. Wir haben die Wissenschaft und die Anwendungen der Wissenschaft, die mit einander verbunden sind, wie der Baum und seine Früchte.“

Und Cuvier, der grosse vergleichende Anatom, schreibt über denselben Gegenstand Folgendes: „Diese grossen praktischen Neuerungen sind nur Anwendungen von Wahrheiten höherer Ordnung, die nicht für praktische Zwecke gesucht, sondern um ihrer selbst willen verfolgt wurden, und zwar nur aus Wissensdrang. Diejenigen, die sie anwandten, konnten sie nicht entdeckt haben; diejenigen, die sie entdeckten, hatten keine Lust, sie bis zu einem praktischen Ziel zu verfolgen. In jene hohen Regionen verloren, wohin ihre Gedanken sie getragen, sahen sie kaum die praktischen Zwecke, die aus ihren eigenen Thaten entsprangen. Diese blühenden Geschäfte, diese bevölkerten Colonien, diese Schiffe, die das Meer durchfurchen — dieser Ueberfluss, dieser Luxus, dieses bunte Treiben — Alles dies kommt von den Entdeckern in der Wissenschaft und ihnen bleibt dies Alles fremd. In dem Augenblick, wo die Wissenschaft in die Praxis übergeht, verlassen sie sie; sie geht sie nichts mehr an.“

Als die Quäker bei Plymouth Rock landeten und Penn seinen Vertrag mit den Indianern abschloss, mussten

die Neuangekommenen ihre Häuser bauen, die Erde zur Bebauung urbar machen und Sorge tragen für ihre Seelen. In einer solchen Niederlassung konnte an Wissenschaft in ihrer abstractern Form nicht gedacht werden. Und bis zur jetzigen Stunde, wenn der abgehärtete Pionier des Westens der starren Natur gegenüber steht, die Berge durchbohrt und den Wald und die Prairie sich dienstbar macht, da kann man ein Studium der Wissenschaft um ihrer selbst willen nicht erwarten. Das erste Bedürfniss des Menschen ist Nahrung und ein schützendes Dach; doch ein grosser Theil dieses Continents steht weit über diesen Bedürfnissen. Die Herren von New-York, Brooklyn, Boston, Philadelphia, Baltimore und Washington haben ihre Häuser schon gebaut und sehr schön gebaut; sie haben auch für ihre Nahrung gesorgt, von deren Vortrefflichkeit ich Zeugniss ablegen kann. Sie haben in der That jenen Grad von Wohlstand und Unabhängigkeit erreicht, wo man mit Recht eine so hohe Bildung von ihnen verlangen kann, wie die Menschheit sie überhaupt bis jetzt erreicht hat. Im Besitz von Reichthum und Musse sind sie zu jener Reife gelangt, wo der Forscher der Naturwahrheiten um der Wahrheit selbst willen Förderer und Beschützer unter ihnen finden muss.

Unter den vielen vorliegenden Fragen haben Sie auch die zu lösen, ob es einer Republik gegeben ist, einen Genius ersten Ranges gross zu ziehen. Die Schriften De Tocqueville's sind Ihnen bekannt, und Sie kennen die warme Sympathie, die er für Ihre Institutionen hegte, und diese Sympathie ist um so werthvoller wegen der wissenschaftlichen Offenheit, mit der er nicht nur Ihre Verdienste, sondern auch Ihre Schwächen und Gefahren bespricht. Wollte ich jetzt hier über die Wissenschaft in Amerika in allzu kritischem und vorurtheilsvollem Sinne

sprechen, so würden Sie das sogleich wie durch eine unsichtbare Strahlung aus meinen Worten und meinem Wesen herausfühlen und danach Ihr Urtheil über mich heute Abend fällen. Wenn ich aber in keinem unfreundlichen — in der That in einem nichts weniger als unfreundlichen Sinn — heute vor Ihnen zu wiederholen wage, was dieser grosse Schriftsteller und Zergliederer der demokratischen Verfassungen von Amerika gesagt hat, so bin ich überzeugt, dass Sie mich ausreden lassen. Er schrieb vor etwa dreiundzwanzig Jahren und würde vielleicht heute nicht dasselbe schreiben; es wird aber Niemand schaden, seine Worte noch einmal wiederholt zu hören und womöglich zu Herzen zu nehmen.

De Tocqueville sagt in einem im Jahre 1850 veröffentlichten Werke: „Wir müssen eingestehen, dass es unter den gebildeten Nationen unserer Zeit wenige giebt, bei denen die höchsten Wissenschaften so wenig Fortschritte gemacht haben, als in den Vereinigten Staaten“ ¹⁾. Er spricht seine Ueberzeugung aus, dass wenn Sie allein auf der Welt gewesen wären, Sie sehr bald entdeckt haben würden, dass Sie nicht auf lange in den praktischen Wissenschaften fortschreiten könnten, ohne zu gleicher Zeit auch die theoretische Wissenschaft zu pflegen. Aber nach De Tocqueville stehen Sie eben nicht allein. Er will nicht Amerika von seiner angestammten Heimath trennen, und er behauptet, dass Sie von dort aus die Schätze des Geistes aufnehmen, ohne sich die Mühe zu geben, sie selbst zu schaffen.“

¹⁾ Il faut reconnaître que parmi les peuples civilisés de nos jours il en est peu chez qui les hautes sciences aient fait moins de progrès qu'aux Etats-Unis, ou qui aient fourni moins de grands artistes, de poètes illustres et de célèbres écrivains. (De la Démocratie en Amérique etc., tome II, p. 36.)

De Tocqueville bezweifelt augenscheinlich die Möglichkeit, dass eine Demokratie das Genie so pflegen könne, wie es bei den alten aristokratischen Verfassungen der Fall gewesen ist. „Die Zukunft,“ sagt er, „wird es lehren, ob die so seltene und so segensreiche Liebe für tiefes Wissen eben so gut in demokratischen, wie in aristokratischen Gemeinwesen gedeihen kann. Was mich anbetrifft,“ fährt er fort, „so glaube ich es kaum.“ Er spricht von der fieberhaften Unruhe der Demokraten nicht nur zu Zeiten grosser Erregung, denn solche Zeiten können den Gedanken einen aussergewöhnlichen Anstoss geben, sondern zu Zeiten des Friedens. „Es herrscht dann,“ sagt er, „eine kleine und unbehagliche Bewegung, eine Art von fortdauernder Reibung des Menschen am Menschen, die den Geist stört und zerstreut, ohne ihm Schwung oder Frische zu geben.“ Ihnen ist nun der Beweis überlassen, ob sich dies in der That so verhält oder ob das grösste wissenschaftliche Genie nicht auch eine ruhige Heimath in Ihrer Mitte finden kann.

Ich möchte nicht gern einem so scharfen Beobachter und so tiefen politischen Denker widersprechen, aber seit meiner Ankunft in diesem Lande war es mir unmöglich, einen Grund in der Verfassung der Gesellschaft zu finden, der einen Forscher mit wahrer innerer Begabung hindern könnte, sich vollständigst der reinen Wissenschaft zu widmen. Wenn in Amerika keine grossen wissenschaftlichen Resultate reifen, so möchte ich diesen Mangel nicht den kleinlichen Reibereien des Verkehrs zuschreiben, sondern der Thatsache, dass die Männer unter Ihnen, welche für gründliche wissenschaftliche Studien am höchsten begabt sind, so sehr mit den Geschäften der Verwaltung oder des Unterrichts überladen sind, dass es ihnen unmöglich ist, sich der continuirlichen und ruhigen

Beschaulichkeit zu überlassen, die eine wissenschaftliche Untersuchung verlangt. Man könnte wohl fragen, ob Henry sich in einen Verwaltungsbeamten umgewandelt hätte, oder ob Draper die Wissenschaft verlassen hätte, um Geschichte zu schreiben, wenn der rein wissenschaftliche Forscher in diesem Lande geehrt worden wäre, wie er sollte. Ich glaube kaum, dass sie es gethan hätten. Und doch wird meiner Meinung nach diese Lage der Dinge nicht dauern. Es herrscht in Amerika eine wahrscheinlich bisher unerreichte Bereitwilligkeit von Seiten der Einzelnen, ihr Vermögen in Sachen des Unterrichts dem Gemeinwohl zu opfern; und diese Bereitwilligkeit verlangt nur eine richtige Anleitung, um es Ihnen zu ermöglichen, den Vorwurf des Herrn De Tocqueville zu beseitigen.

Ihre schwierigste Aufgabe wird nicht sein, Institute zu bauen, sondern Männer zu finden. Sie können Laboratorien gründen und sie ausstatten; Sie können sie mit allen Hilfsmitteln für wissenschaftliche Forschungen versehen; wenn Sie das thun, schaffen Sie nur Gelegenheiten zur Uebung jener Kräfte, die von Quellen kommen, welche gänzlich ausser Ihrem Bereich liegen. Sie können das Genie nicht schaffen, wenn Sie es verlangen; mit der Bibel zu sprechen ist es eine Gabe Gottes. Wäre Ihr Reichthum und Ihre Opferwilligkeit Millionen Mal grösser, als sie sind, so könnten Sie doch allein nur dafür sorgen, dass diese göttliche Pflanze die ihr zur Entwicklung nöthige Wärme, Freiheit und Licht hat. Von Zeit zu Zeit sehen wir einen edlen Baum von Schmarotzerpflanzen niedergedrückt. Diese kann der Gärtner entfernen, wenn auch die Lebenskraft des Baumes selbst ausser seinem Bereich liegt; und so können Sie, die Männer des Reichthums, oft das Genie von den umstrickenden Schlingen befreien, mit denen es durch den Kampf um das Dasein gefesselt wird.

Ihrer gütigen Einladung folgend, bin ich hierher gekommen, um meine Vorlesungen zu halten, und jetzt, wo mein Besuch in Amerika fast schon der vergangenen Zeit angehört, ist die Erinnerung daran durch nichts getrübt. Keinem öffentlichen Lehrer ist ein schönerer Lohn zu Theil geworden, als mir. In dieser glücklichen Stellung darf ich Sie indess wohl daran erinnern, dass die Leistung des Lehrers nicht die höchste Leistung ist, dass in der Wissenschaft der Lehrer meist nur den Reichthum an geistigen Schätzen weiter verbreitet, den bedeutendere Männer angesammelt haben. Und obgleich das Halten von Vorlesungen und das Lehren mit Maass im Allgemeinen ihre geistige Frische befördert, so sollten Ihre hervorragendsten Männer doch nicht allein, auch nicht einmal überwiegend als Docenten, sondern vielmehr als Forscher angestellt werden. Sie haben wissenschaftliche Genies auch unter sich — nicht massenhaft ausgestreut, das, glauben Sie mir, sind sie auch nirgends —, aber hier und dort sind sie vertheilt. Räumen Sie ihnen alle unnützen Hindernisse aus dem Wege. Blicken Sie mit Theilnahme auf die Begründer unseres Wissens. Geben Sie ihnen die nöthige Freiheit für ihre Untersuchungen, überladen Sie sie nicht mit Unterrichtsstunden oder Verwaltungspflichten, fordern Sie von ihnen keine sogenannten praktischen Resultate und vermeiden Sie vor allen Dingen die Frage, die die Unwissenheit so oft an das Genie richtet: „Welches ist der Nutzen Ihrer Arbeit?“ Lassen Sie sie der Wahrheit nachforschen, so unpraktisch Ihnen im Augenblick auch die Wahrheit erscheinen mag. Lass Dein Brod über das Wasser fahren, so wirst Du es finden auf lange Zeit¹⁾.

¹⁾ Pred. Sal., Cap. XI, Vers 1.

ANHANG.

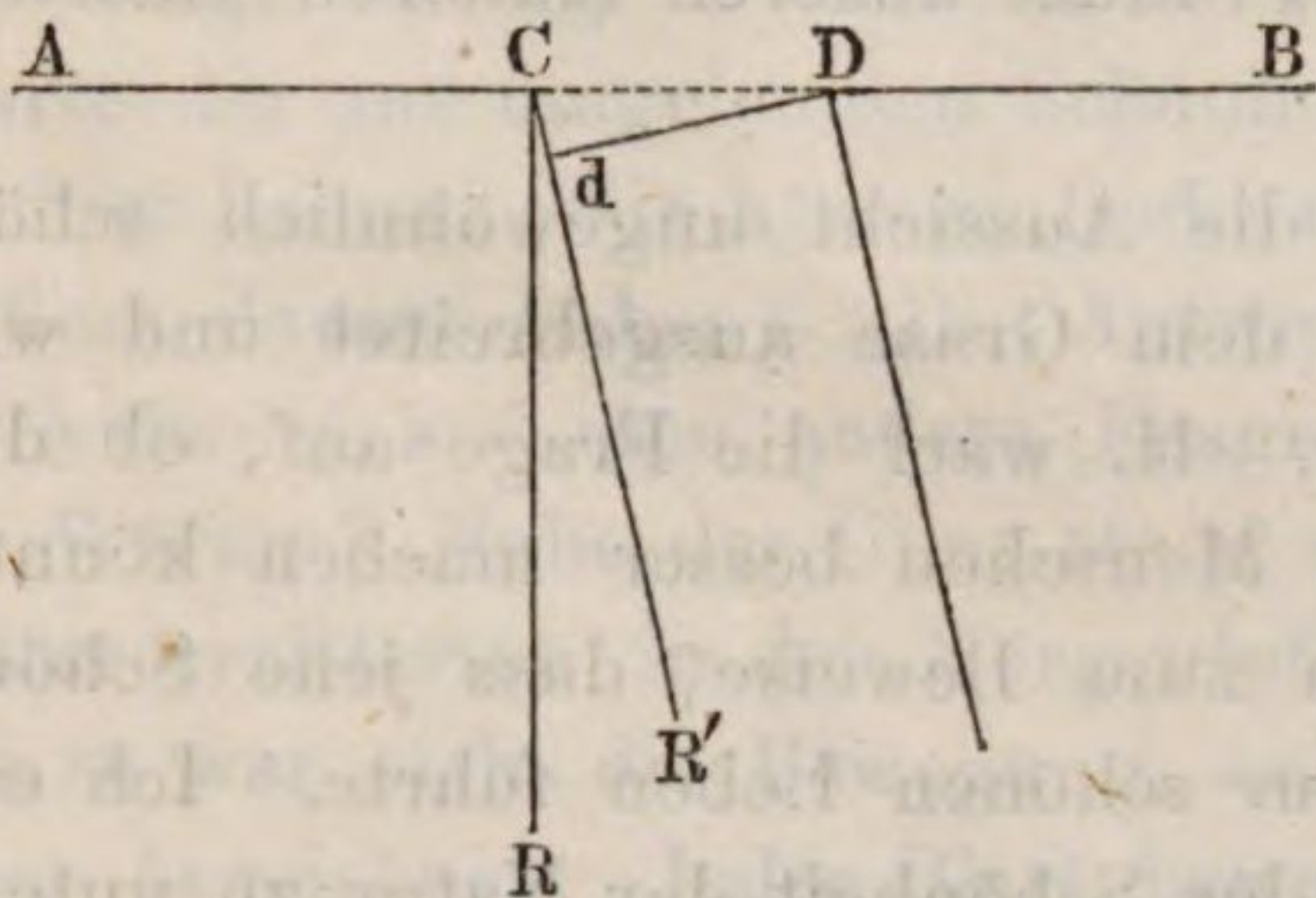
Messung der Wellenlängen des Lichtes.

Die in Vorlesung II. beschriebenen Diffractionsfransen können statt auf der Netzhaut auch auf einem Schirm oder auf mattgeschliffenem Glase entworfen und von hinten durch ein Vergrösserungsglas gesehen werden, oder auch in der Luft beobachtet werden, wenn das mattgeschliffene Glas entfernt wird. Wir wollen annehmen, sie seien, statt auf der Retina, auf einem Schirm entworfen, dann können wir auch ohne Trigonometrie die Lösung der wichtigen Aufgabe verstehen, die Länge einer Lichtwelle zu messen.

Wir wollen die Entfernung des Schirmes von der Lichtquelle so gross annehmen, dass die von den beiden Rändern des Spaltes darauffallenden Strahlen wesentlich einander parallel sind. Wir haben in der zweiten Vorlesung erfahren, dass der erste dunkle Streifen einem Gangunterschied von einer Wellenlänge für die Randstrahlen entspricht, der zweite dunkle Streifen einem Gangunterschied von zwei, der dritte von drei Wellenlängen u. s. f. Nun kann man den Winkelabstand der Streifen von der Mitte genau messen; derselbe hängt, wie schon erwähnt, von der Breite des Spaltes ab. Mit einem 1.35 Millimeter breiten Spalt fand Schwerd den Winkelabstand des ersten dunklen Streifens von der Mitte gleich $1' 38''$, den des zweiten, dritten, vierten Streifens doppelt, drei- und viermal so gross.

Es sei AB (Fig. 60) der Schirm, in welchen der stark vergrössert gezeichnete Spalt CD eingeschnitten ist, und CDR'

Fig. 60.



der rothe Strahl, welcher schräg von demselben ausgehend den ersten dunkeln Streifen bildet. Wir fällen von dem einen Rande D des Spaltes ein Loth Dd auf den Strahl, der von dem andern Rande des Spaltes kommt. Der Abstand Cd

zwischen dem Fusspunkt des Lothes und dem letztern Rande ist gleich einer Wellenlänge des Lichtes. Ferner ist in dem vorliegenden Fall der Winkel CDd gleich RCR' gleich $1'38''$. Von D als Mittelpunkt beschreiben wir mit DC als Radius einen Halbkreis. Ist DC gleich 1.35 Millimeter, so ist die Länge des Halbkreises, wie leicht zu berechnen, gleich 4.248 Millimeter. Die Länge Cd ist so klein, dass sie wesentlich mit einem Bogen dieses Kreises zusammenfällt. Daher verhält sich die Länge des Halbkreises zu der Wellenlänge Cd wie 180° zu $1'38''$ oder, wenn Alles auf Secunden reducirt wird, wie 648000 zu 98. So haben wir das Verhältniss $648000 : 98 = 4.248$ zu der Wellenlänge Cd , welche sich hiernach für diese besondere Lichtart gleich 0.000643 Millimeter oder 0.000026 Zoll ergibt.

Leben und Krystallisation.

In der dritten Vorlesung wurden die Erscheinungen der Krystallisation erwähnt und ihre Beziehungen zu den Erscheinungen des Lebens angedeutet. In der Eröffnungsrede der mathematisch-physikalischen Section der British-Association in Norwich versuchte ich den Ideen, welche ich hierüber

hegte, einen klaren Ausdruck zu geben. Der folgende Auszug aus einem im Jahre 1855 in Dinant geschriebenen Tagebuche zeigt, wie gewöhnlich die in reiferen Jahren ausgesprochenen Gedanken ein Product unserer früheren Lebensjahre sind.

An einem Orte, wo die Aussicht ungewöhnlich schön war, wurde der Plaid auf dem Grase ausgebreitet und wir setzten uns darauf nieder. H. warf die Frage auf, ob die Schönheit der Natur den Menschen besser machen könnte und erwähnte die Tropen zum Beweise, dass jene Schönheit nicht immer zu einem schönen Leben führte. Ich erwiderte, um den Einfluss der Schönheit der Natur zu untersuchen, müsse er von anderen Einflüssen getrennt und allein betrachtet werden. Wenn von zwei Völkern von demselben Charakter und denselben Fähigkeiten, die sich beide mit derselben Leichtigkeit alle Bedürfnisse des Lebens verschaffen können, das eine in eine schöne Gegend, das andere in eine trübe und öde Gegend versetzt würde, so würde das erstere den Vorzug haben. H. behauptete, dass die Bildung erforderlich wäre, ehe der Geist von einer schönen Gegend Nutzen ziehen könnte, während ich behauptete, dass die Bildung, die er verlangte, durch die angenehme Umgebung selbst gefördert werden würde.

Der Einfluss des Klimas auf den Menschen führte uns auf die allgemeine Betrachtung des Einflusses der Sonne auf die Entwicklung des Organischen. Eine grosse Ulme stand in der Nähe. Jedenfalls war ein mechanischer Act erforderlich, den Stoff des Baumes entgegen der Schwerkraft so hoch zu heben. Entgegen dieser Kraft hatten sich die Moleküle erhoben; ohne ihre Beihülfe hatten sie sich in Zweige getheilt und in unzähligen Blättern ausgebreitet. Hier wurden also die Moleküle entweder durch eine äussere Kraft oder durch eine ihnen selbst innewohnende Kraft ausgebreitet. Kein Physiker kann die erste Alternative annehmen; es muss also die zweite als gültig anerkannt werden. Betrachten wir von diesem Standpunkt aus die Erfahrungen dieses Jahres (1855). Mehrere Wochen länger, als

gewöhnlich, verhinderte eine niedere Temperatur die vegetabilische Welt, ein Zeichen des Lebens von sich zu geben; endlich gewann die Sonne an Kraft, das Leben erwachte als eine Folge davon; es entwickelte sich noch jetzt und vermehrte die uns umgebenden Schönheiten. Aber was nennen wir hier Leben? Wie können Licht und Wärme einen solchen Einfluss darauf haben? Die Antwort auf diese Frage setzt die Antwort auf eine andere Frage voraus: Was ist Licht und Wärme? Nahe der Ulme stand eine Birke; ihre leichten Blätter erzitterten in der Morgenluft. Hier war Bewegung, aber es war nicht die Bewegung, welche wir mit dem Namen Leben bezeichnen. Jedes Blatt bewegte sich in diesem Fall wie eine Masse, während das Leben eine innere Bewegung der Moleküle verlangte. Wie können wir uns das vorstellen? Nehmen wir an, die Blätter besäßen anziehende und abstossende Kräfte, sie seien ausserdem der Wirkung der Schwerkraft entzogen und ihrer eigenen Wechselwirkung überlassen. Um die Ideen zu fixiren, wollen wir annehmen, dass die Spitze jedes Blattes die Spitzen aller übrigen Blätter abstösst und die Stiele derselben anzieht und der Stiel jedes Blattes die Stiele aller übrigen Blätter abstösst. Würde eine Anzahl solcher Blätter zusammengebracht und ihrer Wechselwirkung überlassen, so würde sich jedes derselben in einer besondern Art anordnen und eine Lage annehmen, in der die wirkenden Kräfte im Gleichgewicht wären. In dieser Ruhelage mag der Lufthauch, der sie jetzt erzittern macht, auf die Blätter wirken und sie erschüttern, mit einem Wort, das bestehende Gleichgewicht stören. Dann würden die Blätter beständig streben, dasselbe wieder herzustellen; dabei würden sie durch verschiedene Lagen hindurchgehen, und das ganze Laubwerk würde bei dem Uebergang aus der einen in die andere Lage verschiedene Formen annehmen. Durch dieses rohe Bild können wir uns eine Vorstellung von dem machen, was wir Leben nennen.

Die letzten Theilchen oder Moleküle der Materie sind mit Kräften begabt, wie wir sie hier den Blättern zugeschrieben haben. Unter dem Einfluss solcher Kräfte nehmen die Moleküle

des Samens Ruhelagen an, in denen sie für immer verweilen würden, wenn sie nicht durch äussere Kräfte gestört würden. Aber eine Quelle der Störung besteht in der Sonnenwärme, die durch Schwingungen des Aethers im Weltenraume zu uns gelangt. Auf die aneinander gefesselten Moleküle des Samens treffen eventuell die Schwingungen; sie und die umgebenden Massen werden in Bewegung versetzt, eine Wechselwirkung tritt ein. Sogleich folgt daraus ein Bestreben, das gestörte Gleichgewicht wieder herzustellen, welches aber stets wieder vereitelt wird, und der Kampf der Moleküle endet mit der Bildung des Baumes. Das Leben ist also vom wissenschaftlichen Standpunkt aus definirt ein ununterbrochenes Bestreben, das gestörte Gleichgewicht wieder herzustellen.

Diese Speculationen entspringen aus keiner eitlen Neugierde, sie drängen sich unvermeidlich dem tiefer nachdenkenden Geiste auf. Gehen wir ihnen mit heiliger Scheu, aber auch mit Muth entgegen; denn wenn auch dabei manche Traumbilder unserer Jugend dahin schwinden und manches Geheimniss sich auf mechanische Verhältnisse zurückführt, so bleibt doch zuletzt sicherlich das Wunder der Natur unversehrt. Wir können uns, sage ich, derartigen Gedanken nicht entziehen. Wollen wir nicht für jede besondere Pflanze einen eigenen Baumeister annehmen, der die Moleküle aufhebt und sie an ihre Stelle bringt, so müssen die physikalischen Erscheinungen des Lebens in den Wirkungen der Kräfte ihren Ursprung haben, mit denen die Moleküle begabt sind.

Wer ist der Erbauer eines Krystalles? Entweder ist es ein besonderer Baumeister oder diese wunderbaren Bauwerke haben sich selbst in Folge der ihnen innewohnenden Kräfte aufgerichtet. Bei dem Aufbau eines Krystalles macht die Natur ihre erste Kraftanstrengung als Baumeister. Da haben wir die ersten Leistungen der sogenannten Lebenskraft; aber wenn auch die wunderbarsten Aeusserungen dieser Kraft von viel complicirteren Processen abhängig sind, so sind sie meines Erachtens doch von derselben Qualität,

wie die bei dem Wachsthum eines Krystalles betheiligten Kraftäusserungen.

Wird ein Dichter oder ein mit Phantasie begabter Mensch sich von diesen Vorstellungen als kalt und mechanisch abwenden? Weshalb? Was haben wir gethan, als die Grenze des ewigen Geheimnisses etwas weiter zurückzuschieben? Wir führen das Leben auf die Wirkung von Molekularkräften zurück; aber wie können die Moleküle so begabt sein, oder was gab diesen Kräften ihre besondere Tendenz und Richtung? Betrachten wir den Kreis der Vorgänge, in denen der Samen die Pflanze erzeugt, die Pflanze die Blüthe, und die Blüthe wieder den Samen, und der so mit der unfehlbaren Zuverlässigkeit eines Planeten in seinem Umlauf zu seinem Ausgangspunkt zurückläuft. Alle diese Processe sind ohne Zweifel der Wirkung der Molekularkräfte zuzuschreiben. Aber wer und was bestimmte ihre Wirkungsart? Wer oder was begabte sie mit der Kraft, zu einer gegebenen Zeit eine bestimmte Lage anzunehmen, der andere und wieder andere Lagen im Laufe der Jahrhunderte folgten. Jener Schmetterling hat einen rothen Fleck auf seinem Flügel; blicken wir in ein Buch, welches vor hundert Jahren geschrieben ist, und wo der Schmetterling abgebildet ist, so finden wir denselben Fleck auf dem Flügel. Nun hängt aber der Fleck allein von der Art ab, in der das auf den Flügel fallende und in denselben eindringende Licht von demselben wieder ausgegeben wird, und dies hängt wieder von der Molekularstructur des Flügels ab. Ein Jahrhundert hindurch sind also die Moleküle durch eine Anzahl von Kreisläufen hindurchgegangen; Schmetterlinge sind gezeugt worden, sind gewachsen und gestorben, und doch ist ihr Bau der gleiche geblieben. Ist dies nicht erstaunlich? Und was ist die Erklärung? Wir haben eine Menge von annähernden Gründen, aber eigentlich doch keine Erklärung. Dennoch stehen wir auf unserm Standpunkt fest. Es ist kein Grund vorhanden, dass sich nicht noch ein Newton finden sollte, der zeigte, dass die bei dem Bau dieser Flügel in Wirksamkeit tretenden Gesetze und Principien dieselben sind, welche auch bei dem Bau des

Sonnensystems in Wirksamkeit treten. Es giebt keinen wesentlichen Unterschied zwischen dem Organischen und Unorganischen; die in dem einen vorhandenen Kräfte können und müssen bei geeignetem Zusammenwirken die Phänomene des andern hervorbringen.

So weit gehe ich mit vollem Vertrauen und ich bin bereit, noch einen Schritt weiter zu thun. Das Gehirn des Menschen ist sicherlich eine Anhäufung von Molekülen nach physikalischen Gesetzen; aber wenn Sie von mir verlangen, daraus auch nur die geringste Erscheinung der Wahrnehmung und des Denkens abzuleiten, so beuge ich mein Haupt und bekenne die menschliche Hüllosigkeit. Hier lässt die Speculation ihre Flügel sinken, denn über diesen Punkt hinaus giebt es kein Medium, in dem sie ihren Flug weiter fortsetzen könnte.

Ueber die Spectra des polarisirten Lichtes.

Herr William Spottiswoode hat neuerdings den Mitgliedern der Royal Institution eine Reihe sehr schlagender Experimente über die Spectra des polarisirten Lichtes vorgeführt. Mit seinen grossen Nicol'schen Prismen wiederholte und erklärte er zuerst die Versuche von Foucault und Fizeau und bereicherte nachher den Gegenstand mit sehr schönen eigenen Experimenten. Ich füge hier einen Theil des Auszuges aus seiner Rede bei:

Es ist bekannt, dass wenn eine Gypsplatte zwischen ein analysirendes und polarisirendes Nicol'sches Prisma gebracht wird, Farben entstehen können. Wir fragen uns, was ist die Natur dieser Farben? Sind sie einfache Spectralfarben oder sind sie zusammengesetzt, und in letzterem Falle, was sind ihre Bestandtheile? Die durch die Undulationstheorie gegebene Antwort ist kurz die folgende: Bei dem Durchgang durch die Gypsplatte werden die Strahlen je nach der Rich-

tung ihrer Schwingungen und der Schnelligkeit ihres Durchganges so getheilt, dass sie bei der Wiedervereinigung durch das analysirende Prisma sich in einzelnen Fällen einander neutralisiren. Ist dies der Fall, so muss es bei Zerlegung der aus dem letztern Prisma austretenden Strahlen durch ein Prisma deutlich hervortreten, denn wenn Strahlen von allen möglichen Farben neben einander liegen und eine derselben fehlt, so muss sich ihre Abwesenheit durch das Erscheinen eines dunkeln Streifens im Spectrum an ihrer Stelle kundgeben. Aber ausserdem muss das Spectrum von den übrigen Phänomenen Rechenschaft geben, die der Gyps bei der Drehung des analysirenden Prismas zeigt; also, dass bei der Drehung um 45^0 jede Spur einer Farbe verschwindet und bei einer Drehung um 90^0 nicht die frühere, sondern die complementäre Farbe wieder erscheint.

Sie sehen in dem Spectrum des röthlichen, durch den Gyps erzeugten Lichtes einen breiten dunkeln Streifen im Blau. Wird das analysirende Prisma gedreht, so wird der Streifen weniger dunkel, bis er bei einer Drehung um 45^0 fast ganz verschwunden ist. Bei dieser Lage hat das Spectrum seine natürliche Helligkeit, und ohne Spectroskop erscheint ein farbloses Bild. Endlich, bei weiterer Drehung des Nicols, erscheint ein dunkler Streifen im Roth an der complementären Stelle zu der, welche der erste Streifen einnahm; und die Dunkelheit ist am vollkommensten, wenn die Drehung 90^0 beträgt. So giebt uns das Spectroskop vollkommene Rechenschaft von den Vorgängen bei der Erzeugung der ursprünglichen Farbe und ihrer Aenderungen.

Es ist ferner bekannt, dass die durch eine Gyps- oder eine andere Krystallplatte hervorgebrachte Farbe von ihrer Dicke abhängig ist. Und in der That findet man bei Anwendung verschieden dicker Platten, die verschiedene Farben zeigen, in ihren Spectren Streifen an verschiedenen Stellen. Die dünneren Platten zeigen Streifen in den Theilen des Spectrums nahe dem Violett, wo die Wellen kürzer sind; sie geben daher rötheres Licht; während die dickeren Platten mehr blaue

Tinten ausgeben und Streifen näher dem Roth zeigen, wo die Wellen länger sind.

Wird die Dicke der Platte beständig vermehrt, so dass die erzeugte Farbe durch die ganze Scala des Spectrums hindurchgegangen ist, so werden bei noch mehr gesteigerter Dicke der Platten die Farben noch einmal in derselben Reihenfolge erzeugt; aber man bemerkt, dass bei jeder Wiederholung die Farben bleicher werden, und wenn eine Anzahl von Wiederholungen stattgefunden hat und die Platte bedeutend dick ist, jede Spur einer Farbe verschwindet. Nehmen wir nun eine Reihe von Platten, deren beide ersten, wie Sie sehen, Farben geben; bei den übrigen dickeren sind die Farben so schwach, dass sie kaum gesehen werden können. Das Spectrum der ersten Platte zeigt einen einzelnen Streifen, das der zweiten zwei, so dass also die zweite Farbenreihe nicht mit der ersten identisch ist, sondern durch Auslöschung von zwei Farben aus den Componenten des weissen Lichtes erzeugt wird. Die Spectra der anderen Platten zeigen eine Reihe von Streifen, die um so zahlreicher werden, je dicker die Platte ist; ein Verhältniss, welches bis in die Unendlichkeit fortgeführt werden könnte. Das ganze Licht, welches dem Spectrum bei den dickeren Platten entzogen ist, ist von einer grössern Zahl seiner Stellen entnommen, oder mit anderen Worten, das zurückbleibende Licht ist gleichmässiger über das Spectrum verbreitet; und in demselben Verhältniss nähert sich die Gesamtsumme desselben dem weissen Licht.

Diese Versuche wurden vor mehr als 30 Jahren von den französischen Physikern Foucault und Fizeau angestellt.

Wenden wir statt des Gypses, des Doppelspathes und anderer gewöhnlicher Krystalle Quarzplatten an, die senkrecht zur Axe geschnitten sind, und drehen wir das analysirende Prisma, wie vorher, so zeigt das Licht nicht mehr eine bestimmte Farbe und die complementäre Farbe mit einem Zwischenzustand, in dem keine Farbe erscheint, sondern es ändert seine Farbe beständig, und die Reihenfolge der Farben hängt theils von der Richtung ab, in die das analysirende Prisma gedreht wird, theils von dem Charakter

des Krystalles, ob er rechts oder links dreht. Untersuchen wir das Spectrum in diesem Falle, so finden wir, dass der dunkle Streifen niemals verschwindet, sondern von einem Ende des Spectrums zum andern wandert oder umgekehrt, gerade in der Richtung, dass nacheinander die direct gesehenen Farben entstehen.

Die durch Quarzplatten erzeugte Art der Polarisation wird Circularpolarisation genannt, während die durch die anderen Krystallarten erzeugte lineare Polarisation genannt wird, entsprechend der Form der durch die Aethermoleküle vollbrachten Schwingungen; und dies führt uns dazu, die Natur der Polarisation der verschiedenen Theile der Spectra des polarisirten Lichtes zu untersuchen.

Jetzt ist aber Zweierlei klar; erstens, wenn das Licht linear polarisirt ist, das heisst, wenn alle Schwingungen in dem ganzen Strahl geradlinig sind und in einer Ebene liegen, dass sie alle in ihrem Verhalten eine gewisse Beziehung zu einer bestimmten Richtung im Raume haben müssen, so dass sie durch verschiedene Lagen des analysirenden Prismas verschieden beeinflusst werden. Zweitens, wenn die Schwingungen kreisförmig sind, dass sie bei allen Lagen der analysirenden Prismen eine gleiche Einwirkung (worin sie auch bestehen mag) erleiden müssen. Dieser Ausspruch wiederholt nur einen fundamentalen Satz der Polarisation. In der That wird linear polarisirtes Licht abwechselnd von dem analysirenden Prisma hindurchgelassen und ausgelöscht, wenn dasselbe um 90° gedreht wird, während circular polarisirtes (wenn wir einen einzelnen Strahl erhalten könnten), allem Anschein nach unverändert bleibt. Und wenn wir sorgfältig das Spectrum des durch eine Gypsplatte hindurchgegangenen Lichtes beobachten, so finden wir, dass, wenn wir von zwei aufeinanderfolgenden Streifen ausgehen, die von denselben eingenommenen und gerade in der Mitte zwischen ihnen liegenden Theile des Spectrums linear polarisirt sind, denn sie werden abwechselnd hell und dunkel, während die intermediären Theile, d. h. die um ein Viertel des Abstandes beider Streifen von ihnen entfernten Stellen, beständig hell

bleiben. Diese sind in der That circular polarisirt. Indess wäre es nicht correct, aus diesem Experiment allein schon den Schluss zu ziehen, dass dies der Fall ist, da sich die gleiche Erscheinung zeigen würde, wenn jene Theile des Spectrums unpolarisirt wären, wie gewöhnliches Licht. Und unter letzterer Voraussetzung könnten wir mit gleichem Rechte schliessen, dass die auf beiden Seiten der erwähnten Stellen liegenden (d. h. um ein Achtel des Raumes zwischen zwei Streifen von einander entfernten) Stellen theilweise polarisirt wären. Es giebt aber einen sehr einfachen Apparat, den man eine Platte von einer viertel Wellenlänge nennt, eine Glimmerplatte, deren Dicke ein ungerades Multiplum einer viertel Wellenlänge ist, welcher uns gestattet, unpolarisirtes und circularpolarisirtes Licht von einander zu unterscheiden. Die Wirkung derselben auf den Strahl könnte kaum in der kurzen uns zugemessenen Zeit vollständig auseinandergesetzt werden; aber es möge die Angabe genügen, dass die Viertelwellenplatte in einer geeigneten Stellung linear polarisirtes Licht in circular polarisirtes verwandelt und umgekehrt. Ist dies der Fall, so müssen die vorher dunkeln Stellen hell werden und die vorher hellen Stellen durch dunkle Streifen ersetzt werden, wenn das analysirende Prisma gedreht wird. Die Wirkung wird also für das Auge eine allgemeine Verschiebung der Streifen um ein Viertel des Abstandes zwischen je zweien derselben sein.

Die Circularpolarisation kann ebenso, wie die kreisförmige Bewegung, in zwei Arten auftreten, die sich nur in der Richtung der Bewegung unterscheiden. Und in der That, um die Circularpolarisation, die durch diese Platte erzeugt wird, von der einen Art in die andere (z. B. von der rechts herumschwingenden in die links schwingende oder umgekehrt) überzuführen, brauchen wir nur die Platte um 90° zu drehen. Entsprechend wird ein rechts herumschwingender circularpolarisirter Strahl durch die Platte in einen linear polarisirten, in einer bestimmten Richtung schwingenden, ein links herumschwingender circular polarisirter in einen linear polarisirten Strahl verwandelt, dessen Schwingungsebene gegen die des

ersten um 90° gedreht ist. Daher sehen wir, wenn die Platte um 90° gedreht wird, dass die Streifen sich in entgegengesetzter Richtung bewegen, wie vorher. Wir haben daher den Beweis, dass die Polarisation dicht neben den Streifen auf beiden Seiten circular ist, daher auch, dass die Schwingungen auf der einen Seite rechts herum, auf der andern Seite links herum stattfinden¹⁾.

Wenn es die Zeit erlaubte, könnte ich noch weiter in die Einzelheiten eingehen und zeigen, dass die Polarisation an den Stellen zwischen der linearen und circularen Polarisation elliptisch ist, und auch die Lage der grossen und kleinen Axen und die Richtung der Bewegung im letzteren Falle nachweisen. Aber es möge das Gesagte für unsern Zweck genügen.

Ehe wir zu den complicirteren Arten der Streifen im Spectrum übergehen, die ich Ihnen jetzt vorführen möchte, erbitte ich mir für einige Minuten Ihre Aufmerksamkeit für eine besondere Erscheinung bei Anwendung von zwei Gypsplatten, die complementäre Farben zeigen. Das Spectrum ändert sich mit der relativen Lage der Platten. Liegen sie einander ähnlich — d. h., wie wenn sie nur einen Krystall bildeten — so verhalten sie sich wie eine Platte, deren Dicke gleich der Summe ihrer Dicken ist, und geben doppelt so viele Streifen, wie eine allein, die bei Drehung des analysirenden Prismas an complementären Stellen verschwinden und erscheinen, wie gewöhnlich bei der linearen Polarisation. Wird die eine Platte um 45° gedreht, so erscheint ein Streifen an einer bestimmten Stelle des Spectrums. Dieser theilt sich in zwei, die sich gegen das rothe und blaue Ende hin von einander entfernen oder sich einander nähern, je nach der Richtung der Drehung des analysirenden Prismas.

¹⁾ An diesen Stellen wirken die beiden aufeinander senkrechten Schwingungen, in die der Strahl aufgelöst ist, aufeinander, wie die zwei aufeinander senkrechten Schwingungen, die wir in der vierten Vorlesung unserm Pendel ertheilten, von denen die eine erregt wurde, als das Pendel an der Grenze der anderen angelangt war. Die Schwingungen werden so in Rotationen verwandelt.

Wird die eine Platte um 45^0 in entgegengesetzter Richtung gedreht, so kehrt sich die Wirkung um. Die Dunkelheit der Streifen ist indess auf ihrem ganzen Wege nicht gleich vollkommen. Endlich, wird eine der Platten um 90^0 gedreht, so sieht man keine Streifen und das Spectrum ist abwechselnd hell oder dunkel, wie wenn keine Platten verwendet würden; nur ist die Polarisationssebene um 90^0 gedreht.

Wird eine keilförmige Krystallplatte verwendet, so sind die Streifen nicht mehr gerade, sondern ziehen sich in diagonalen Richtung über das Spectrum, wobei die Richtung der Diagonale von rechts nach links oder umgekehrt durch die Lage des dickeren Endes des Keiles bestimmt wird. Werden zwei Keile mit ihren dicksten Enden zusammengelegt, so wirken sie wie ein Keil, dessen Winkel und Dicke die doppelte des vorherigen sind. Werden sie in umgekehrter Lage aneinandergelegt, so wirken sie wie eine ebene Platte, und die Streifen liegen wieder quer über das Spectrum in geraden, gegen seine Längsrichtung senkrechten Linien.

Bei Anwendung einer concaven Platte ordnen sich die Streifen in Form eines Fächers; ihre Divergenz hängt von dem Abstand des Spaltes von der Mitte der Höhlung ab.

Werden zwei Quarzkeile zusammengelegt, und liegt die eine optische Axe des einen parallel der Kante an dem brechenden Winkel, und ist die des anderen darauf senkrecht, aber in der den brechenden Winkel enthaltenden Ebene, so stellen dieselben den sogenannten Babinet'schen Compensator dar. Bei diesem sind die Erscheinungen sehr mannigfaltig.

Die diagonalen Streifen legen sich zuweilen um, wie bei gewöhnlichen Keilen, zuweilen vereinen sie sich und bilden longitudinale (statt transversaler) Streifen, und zuweilen kreuzen sie sich und bilden eine Art Muster mit hellen Zwischenräumen in einem dunkeln Netzwerk und umgekehrt, je nach der Lage der Platten.

Die Wirkung der verschiedenen Stellungen zwischengelegter Krystalle kann bis ins Unendliche variirt werden; indess das Gesagte dürfte wohl genügen, um die Feinheit

der auf die Spectralanalyse begründeten Methode der Untersuchung des polarisirten Lichtes darzuthun.

Die merkwürdige und schöne Erscheinung an einer kreisförmigen Gypsplatte, die in der Mitte dünn ist und sich allmählich gegen den Rand hin verdickt, kann leicht mit einer ähnlichen Erscheinung bei den Newton'schen Ringen in Beziehung gebracht werden. Es falle ein dünner Lichtstreif über die Mitte der Gläser, die die Ringe zeigen, so dass er auf ihnen eine schmale verticale Zone bedeckt. Das Bild dieser Zone auf dem Schirm wird von den regenbogenfarbigen Ringen gekreuzt. Wird der reflectirte Strahl der prismatischen Analyse unterworfen, so kann das resultirende Spectrum als gebildet angesehen werden aus einer Unzahl einzelner, nebeneinander liegender Bilder der Zone. Vor der Dispersion lagen in dem Bilde farbige Ringe, und nirgends war das Licht völlig ausgelöscht. Werden aber die Farben durch Dispersion von einander getrennt, so wird jede Farbe transversal von ihrem eigenen System von dunkeln Interferenzstreifen gekreuzt, die mit zunehmender Brechbarkeit des Lichtes immer enger an einander stehen. Das ganze Spectrum erscheint daher von einem System continuirlicher dunkler Streifen durchfurcht, die die Farben transversal kreuzen und beim Fortschreiten vom Roth zum Blau sich einander nähern.

Bei dem Versuch mit dem Gyps wird ein Spalt vor das polarisirende Prisma gebracht und die dünne Gypsplatte dicht vor den Spalt gehalten, so dass das Licht durch die centrale Zone der Platte hindurchgeht. Wie bei den Newton'schen Ringen ist das Bild der Zone von regenbogenfarbigen Streifen durchkreuzt; wird es aber durch ein Prisma zerstreut, so liefert das Licht der Zone ein Spectrum, welches von vollkommen dunkeln Streifen durchfurcht wird, gerade wie bei dem Versuch mit den Newton'schen Ringen und aus einem ähnlichen Grunde. Dies ist die schöne Erscheinung, welche Herr Spottiswoode als die fächerförmige Anordnung der Streifen beschreibt, wobei sich der Fächer gegen das rothe Ende des Spectrums hin öffnet.

Nachtrag zu Seite 29, Zeile 16.

Die Unmöglichkeit, ein eigentliches Spiegelbild des Regenbogens im Wasser zu sehen, lässt sich folgendermaassen erkennen. Aus dem Mitgetheilten ist es klar ersichtlich, dass zwei neben- oder übereinander stehende Beobachter, ja, dass selbst die beiden Augen desselben Beobachters nicht genau denselben Regenbogen sehen. Die Lage der Basis des Kegels ändert sich mit der seiner Spitze. Sieht man zwei Bogen, den einen am Himmel, den andern im Wasser, so könnte man der Ansicht sein, dass der eine in demselben Verhältniss zum andern stände, wie der Baum am Ufer zu seinem reflectirten Bilde. Die Strahlen indess, die das Auge des Beobachters nach der Reflexion erreichen, und die einen Regenbogen bilden, würden, wenn sie nicht zurückgeworfen würden, in einem Punkt zusammenlaufen, der vertical unter dem Beobachter ebenso tief unter der Oberfläche des Wassers läge, wie sein Auge darüber. Doch unter keiner Bedingung könnte ein Auge über der Wasseroberfläche und eines darunter denselben Regenbogen sehen — mit anderen

Worten, dieselben Regentropfen können nicht den reflectirten Bogen und den direkt am Himmel gesehenen Bogen bilden. Daher ist auch der reflectirte Bogen im gewöhnlichen optischen Sinne des Wortes nicht das Bild des am Himmel gesehenen Bogens.

Worten, die durch Regenbogenstrahlen nicht den richtigen Bogen und den richtigen Himmel gesehen werden bilden. Daher ist auch der richtige Bogen im gewöhnlichen optischen Sinne des Wortes nicht das Bild des am Himmel gesehenen Regens.

Nachtrag zu Seite 188, Zeile 2.

Verbrennung des Diamanten durch strahlende Wärme.

Faraday beschreibt folgendermaassen die Verbrennung eines Diamanten in Sauerstoff durch die concentrirten Strahlen der Sonne, wie sie in Florenz, Dienstag den 27. März 1814, in Gegenwart von Sir Humphry Davy vorgenommen wurde: — „Heute stellten wir den grossen Versuch der Verbrennung des Diamanten an, und wirklich waren die eintretenden Erscheinungen ausserordentlich schön und interessant. Eine Glaskugel, die ungefähr 22 Kubikzoll fasste, wurde ausgepumpt und mit reinem Sauerstoff gefüllt. Der Diamant befand sich in der Mitte der Kugel. Wir benutzten das Brennglas des Herzogs, um den Diamanten zu erhitzen. Es besteht aus zwei biconvexen Linsen, die ungefähr $3\frac{1}{2}$ Fuss von einander entfernt sind; die grosse Linse hat ungefähr 14 oder 15 Zoll im Durchmesser, die kleinere ungefähr 3 Zoll. Durch die zweite Linse wird der Brennraum sehr verkleinert und die Hitze bei hellem Sonnenschein äusserst

intensiv. Der Diamant wurde in den Brennraum gebracht und sorgfältig beobachtet. Plötzlich bemerkte Sir H. Davy, dass der Diamant sichtlich brannte, und als er aus dem Brennraum entfernt wurde, zeigte sich, dass er lebhaft und rasch verbrannte.“

Man hatte die Verbrennung des Diamanten vermittelst der strahlenden Wärme einer irdischen Quelle noch nie beobachtet. Ich stellte diesen Versuch mit Erfolg an, ehe ich über den atlantischen Ocean ging. Der kleine Diamant in meiner Hand wird von einer Schleife von Platindrath gehalten. Um ihn so viel als möglich vor Luftzug zu schützen und um auch die Wärme auf ihm zu concentriren, ist er von einem Schirm von Platinblech umgeben. Ich stelle ein Gefäss mit Sauerstoff darunter und lasse den Brennpunkt des elektrischen Strahles auf den Diamanten fallen. Eine viel kürzere Zeit, als zu dem von Faraday beschriebenen Versuch erforderlich ist, genügt, um den Diamanten zur hellen Rothgluth zu erhitzen. Wird er dann in den Sauerstoff eingetaucht, so glänzt er wie ein kleiner, weisser Stern und würde so fortfahren zu brennen und zu glänzen, bis er gänzlich verzehrt wäre. Man kann auch den Focus auf den Diamanten im Sauerstoff selbst fallen lassen, wie bei dem Florentiner Versuch: das Resultat wäre dasselbe. Ich stellte nur den Versuch in der beschriebenen Art an, um den Brennpunkt sicher auf den Diamanten fallen lassen zu können¹⁾.

¹⁾ Bei dieser Gelegenheit erlaube ich mir, eine Auslassung zu berichtigen, die aus dem englischen Original der Wärme von Tyndall auch in die deutsche Uebersetzung (I. Aufl. §. 588, II. u. III. Aufl. §. 684) übergegangen ist. An dem entsprechenden Orte derselben heisst es:

Die ganze Menge der Sonnenwärme, die in einem Jahr von der Erde aufgenommen wird, würde bei gleichmässiger Verthei-

lung über die Erdoberfläche genügen, um eine Schicht Eis von 100 Fuss Dicke, die die ganze Erde bedeckt, zu schmelzen. Sie würde auch einen Ocean von süßem Wasser von einer Tiefe von 66 engl. (15 geogr.) Meilen von der Temperatur des schmelzenden Eises bis zum Kochpunkt erwärmen. Die ohne Weiteres ersichtliche Incongruenz dieser Angaben wird durch die Ergänzung der in der zweiten derselben fortgefallenen Worte „in bei-
läufig 5000 (4800) Jahren“ gehoben. Ein wesentlicher Irrthum kann aus diesem sehr augenscheinlichen Druck- oder Schreibfehler bei ernsterer Beschäftigung mit dem Gegenstand wohl kaum erwachsen.

G. W

SACH- UND NAMENREGISTER.

A.

Absorption, Principien, 218.
 Acland, Dr., in der April-Nummer des „Comtemporary Review“ erwähnt, 15.
 Aether, Huyghens u. Euler vertreten und vertheidigen die Annahme desselben, 55. 65.
 — Newton verwirft ihn, 65.
 Airy, Sir George, Strenge seiner Schlüsse, 229.
 Alhazen, Untersuchung über das Licht, 16. 227.
 Analysator, Polarisator, Wiedervereinigung beider Wellensysteme durch den Analysator, 143.
 Angström, Arbeiten über Spectral-Analyse, 215.
 Arago, Franz, giebt Dr. Young sein Recht, 57.
 — Entdeckungen über das Licht, 229. 231.
 Atome, Polarität derselben, 108 bis 111.
 Ausdehnung durch Kälte, 117.
 Auge, in Jahrhunderten der Vollkommenheit entgegen gereift, 9.

Auge, ein Wunder dem denkenden Geist, 10.

— unvollkommene Achromasie desselben, 33.

B.

Bacon, Roger, Untersuchung über das Licht, 16. 227.
 Barnard, Präsident, Versuch über die Wellentheorie, 166 Anm.
 Bartholinus, Erasmus, über Kalkspath, 125.
 Bérard, Polarisation der Wärme, 198.
 Boyle, Robert, Beobachtungen über Farben, 76.
 — Bemerkungen über Fluorescenz, 182.
 Bradley, James, bestätigt die Beobachtungen und Schlüsse Roemer's, 24.
 — entdeckt die Aberration des Lichtes, 25.
 Brechung, Versuch über die des Lichtes, 17.
 — doppelte, 122.
 Brewster, Sir David, Haupteinwurf gegen die Wellentheorie des Lichtes, 54.

Brewster, Fluorescenz, 184.
 — Entdeckung der zweiaxigen Krystalle, 229.
 Brougham, Mr. (später Lord), macht Dr. T. Young's Speculationen lächerlich, 58.
 Browning, Prismen, 139.
 — Spectroskope, 139.
 Bunsen, Entdecker der Spectralanalyse, 211.
 — Entdecker von Cäsium und Rubidium, 211.

C.

Caesar, Julius, Ansichten über die Quellen des Nils, 105.
 Cäsium, Entdeckung durch Bunsen, 211.
 Calorescenz, 192.
 Crookes, Entdeckung des Thalliums, 211.
 Cuvier, über Wissensdrang, 242.

D.

Darwin, Speculationen, 106.
 Davy, Sir Humphrey, Ruhm, 58.
 Democratie, De Toqueville, 243. 244.
 Descartes, Erklärung des Regenbogens, 28.
 — Ideen über die Durchlassung des Lichtes, 50.
 — Ansicht über das Licht, 227.
 De Toqueville, Schriften, 236.
 Diamant, Verbrennung im Sauerstoff, 187.
 Diathermansie, 191.
 Diffraction des Lichtes, Erscheinungen, 90.
 — Streifen, 91. 92.
 — Erklärung derselben, 93.
 — Farben, 101.
 Dollond, Versuche über Achromasie, 31.
 Draper, Untersuchungen über Wärme, 189.
 Drummond'sches Licht, Spectrum desselben, 214.
 Du Bois-Reymond, Versuch über thierische Elektrizität, 14.

Dunkelheit, ihre Bedeutung 36.
 Durchgelassenes Licht, Ursache, 89.
 Durchsichtigkeit, Bemerkungen, 185.

E.

Einbildungskraft, 48.
 — Bemerkung von Maclaurin über diesen Gegenstand, 49 Anm.
 Eislinsen, Verbrennung durch dieselben, 185.
 Elektrizität, Entdeckungen, 240.
 Elektrisches Licht, Wärme, 185.
 Emerson, citirt, 62.
 Emissions-Theorie des Lichtes, Grundlage, 53.
 — Newton erklärt sich für die Theorie und die Resultate dieser Erklärung, 85.
 Erde, tägliche Bewegung, 86.
 Euler vertritt und vertheidigt die Annahme eines Aethers, 55. 65.
 Eusebius über die Naturforscher seiner Zeit, 15.

F.

Faraday, Michael, Ruhm, 58.
 — Entdeckung der Magneto-elektricität 239.
 — Anwendungen, Theorie, 85.
 — Erklärung der Newton'schen Ringe, 86.
 — Widerlegung der Theorie, 89.
 Farben dünner Platten, 75.
 — Boyle's Beobachtungen derselben, 76.
 — Hooke über Farben von dünnen Platten, 78.
 — gestreifter Oberflächen, 103.
 Fizeau, bestimmt die Geschwindigkeit des Lichtes, 25.
 Fluorescenz, Stokes' Entdeckung, 181.

- Fluorescenz, der Name, 192.
 Forbes, Professor, polarisirt und depolarisirt Wärme, 198.
 Foucault, bestimmt die Geschwindigkeit des Lichtes, 25.
 — Versuche über die Sonnenchemie, 216, 217, 220.
 Fraunhofer, theoretische Berechnungen über Diffraction, 100.
 — Linien, 212.
 — ihre Erklärung durch Kirchhoff, 213.
 Fresnel verhilft Dr. Young zu seinem Recht, 57.
 — theoretische Berechnungen über Diffraction, 100.
 — mathematische Begabung, 229.
 — sein unsterblicher Name, 229.

G.

- Gauss, Instrument, um die geringste Veränderung des Erdmagnetismus zu zeigen, 14.
 Gestreifte Oberflächen, Farben derselben, 102.
 Goethe, über Fluorescenz, 183.
 Gravitation, Ursprung der Vorstellung von der Anziehung 106.
 — Sicherheit der Theorie, 165.
 Grimaldi, Entdeckung in Bezug auf das Licht, 64.
 — Young's Verallgemeinerungen, 65.
 Gyps, Versuche mit dicken und dünnen Platten, 139.

H.

- Hamilton, Sir William von Dublin, Verdienste um die Optik, 229.
 Henry, Professor Joseph, seine Einladung, 3.
 Helmholtz, Versuch über thierische Elektrizität, 14.
 — Urtheil über Young, 57.
 — über die unvollkommene Achromasie des Auges, 33.

- Helmholtz enthüllt die Ursache des Grün bei Farbstoffen, 41.
 Herschel, Sir John, theoretische Berechnungen über Diffraction, 101.
 — beobachtet und beschreibt zuerst die Fluorescenz von schwefelsaurem Chinin, 183.
 — Versuche über die Spectra, 221.
 Herschel, Sir William, Versuche über die Wärme der verschiedenen Farben des Sonnenspectrums, 188.
 Himmelslicht, Farbe und Polarisation, 165. 175.
 — Erzeugung von künstlichen Himmeln, 175.
 Hooke, Robert, über die Farben von dünnen Platten, 78.
 — Bemerkungen über die Ansicht, dass Licht und Wärme Arten von Bewegung seien, 79.
 Huyghens befürwortet den Begriff des Aethers, 55. 65.
 — berühmtes Princip, 95.
 — über die doppelte Brechung des Kalkspaths, 125.
 Huggins, Dr., Arbeiten, 224.

J.

- Janssen, über die Protuberanzen, 224.
 Jupiter, Roemer's Beobachtungen der Monde, 22.
 — Entfernung von der Sonne, 22.

K.

- Kalkspath, Dichtigkeit, 123.
 — doppelte Brechung, 125.
 — diese doppelte Brechung zuerst von Erasmus Bartholinus beobachtet, 125.
 — Charakter der von ihm ausgehenden Strahlen, 128.
 — geprüft durch einen Turmalin, 131.
 — Knoblauch's Nachweis seiner doppelten Brechung, 203.

- Keppler, Methode, 16.
 — seine berühmten Gesetze, 16.
 — findet nicht das Brechungsgesetz, 16.
 — seine Untersuchungen über das Licht, 227.
 Kirchhoff, Erklärung der Fraunhofer'schen Linien, 213.
 — seine Vorgänger, 221.
 — wissenschaftliche Arbeiten u. sein Anrecht auf Unsterblichkeit, 223.
 Knoblauch, Erklärung der doppelten Brechung der Wärme des Kalkspaths, 203.
 Komet von 1680, Newton's Schätzung der Temperatur, 187 Anm.
 Krystalle, Wirkung auf das Licht, 111.
 — entstanden durch polare Kräfte, 112.
 — Beispiele von Krystallisation, 113.
 — Bau derselben, betrachtet als Einleitung zu ihrer Wirkung auf das Licht, 111.
 — Wirkung der Krystallisation auf optische Erscheinungen, 120.
 — Ringe um die Axen der Krystalle, 162.
 — einaxige und zweiaxige, 163.
 — die Erscheinungen derselben und ihre Beziehungen zum Lebensprocess, 249.

L.

- Lactantius, über die Naturforscher seiner Zeit, 15.
 Lamy, stellt Thallium in Barren dar, 211.
 Lesley, seine Einladung, 3.
 Licht, den Alten bekannt, 6.
 — Erzeugung, 7. 8.
 — sphärische Aberration, 9.
 — die geradlinige Fortpflanzung und die Art, sie zu erzeugen, 10.
 — Beweis, dass der Einfallswinkel dem Reflexionswinkel gleich ist, 12.
 Licht, Unfruchtbarkeit des Mittelalters, 15.
 — Geschichte der Brechung, 16.
 — Versuch über die Brechung, 17.
 — partielle und totale Reflexion, 19. 22.
 — Geschwindigkeit, 23.
 — Bradley's Entdeckung, 24. 25.
 — Gesetz der kleinsten Wirkung, 26.
 — Descartes und der Regenbogen, 27.
 — Newton's Analyse, 31.
 — Synthese des weissen Lichtes, 33.
 — complementäre Farben, 34.
 — gelbes und blaues Licht erzeugt durch Mischung weiss, 34.
 — Was bedeutet Dunkelheit? 36.
 — Analyse der Wirkung von Farbstoffen, 37.
 — Absorption, 39.
 — Mischung von Farbstoffen im Gegensatz zur Mischung von Spectralfarben, 42.
 — Wünsch, über die drei einfachen Farben im weissen Licht, 7.
 — Newton kommt auf die Emissionstheorie, 51.
 — Young's Entdeckung der Undulationstheorie, 56.
 — Versuche über Wellenbewegung, 58. 66.
 — Interferenz von Schallwellen, 68.
 — Analogieen von Licht und Schall, 71.
 — Geschwindigkeit, 71.
 — Gesetz der Interferenz von Lichtwellen, 72.
 — Erscheinungen, die zuerst auf die Undulationstheorie führten, 74. 81.
 — Seifenblasen und ihre Farben, 74. 81.
 — Newton's Ringe, 81. 88.
 — Seine Annahme der Emissions-

- theorie und die Folgen dieser Annahme, 88. 89.
- Licht, durchgelassenes, 89.
- Diffraction, 90. 102.
 - Ursprung der Idee der Anziehung der Schwerkraft, 106.
 - Polarität, Erzeugung, 107.
 - Wirkung von Krystallen auf das Licht, 110.
 - Refraction, 120.
 - Elasticität und Dichtigkeit, 122.
 - Doppelbrechung, 122.
 - Farbenerscheinungen durch Krystalle hervorgerufen in polarisirtem Licht, 135.
 - das Nicol'sche Prisma, 137.
 - Mechanismus des Lichtes, 140.
 - Schwingungen, 141.
 - Zusammensetzung und Zerlegung der Schwingungen, 142.
 - Polarisator und Analysator, 143.
 - die beiden Wellensysteme, durch den Analysator wieder vereint, 145.
 - Interferenz hierbei, 148.
 - Farbenerscheinungen im Quarz 156.
 - Magnetisirung des Lichtes, 158.
 - Ringe, die die Axe der Krystalle umgeben, 159.
 - Farbe und Polarisation des Himmels, 165. 175.
 - Grenzen des Sehens, nicht entsprechend denen der Strahlung, 176.
 - Wirkung des Thallens auf das Spectrum, 180.
 - Fluorescenz, 181.
 - Gesicht, nicht der einzige Sinn, den der Sonnen- und der elektrische Strahl afficirt, 183. 185.
 - Durchsichtigkeit, 185.
 - die ultrarothten Strahlen, 187.
 - Rolle, die diese Strahlen in der Natur spielen, 192.
 - Umwandlung der Wärmestrahlen in Lichtstrahlen, 192.
 - Identität der strahlenden Wärme und des Lichtes, 195.
- Licht, Polarisation der Wärme, 198.
- Gesetze der Spectralanalyse, 207.
 - Spectra von weissglühenden Dämpfen, 209.
 - Fraunhofer's Linien und Kirchhoff's Erklärung derselben, 213.
 - Sonnenchemie, 214. 216.
 - Nachweis der Analogie zwischen Schall und Licht, 218.
 - Kirchhoff und seine Vorgänger, 221.
 - rosafarbene Protuberanzen, 223.
 - Resultate von verschiedenen Arbeitern, 224.
 - Schluss, 224.
 - Messung der Wellenlängen, 248.
- Lignum Nephriticum, Fluorescenz, 182.
- Lloyd, über Polarisation der Wärme, 198. 230.
- Lockyer, über die rosagefärbten Sonnenprotuberanzen, 223.
- Lucretius, Theorien der Atome, 105.
- Lycopodium, Diffractionswirkungen, erzeugt durch seine Sporen, 101.
- M.
- Magnetisirung des Lichtes, 158.
- Malus, Entdeckung bei dem reflectirten Licht durch Doppelpath, 128.
- entdeckt die Polarisation des Lichtes durch Reflexion, 229.
- Masson, Abhandlung über die Streifen des Inductionsfunkens, 221.
- Melloni, über Polarisation der Wärme, 198.
- Metalle, Verbrennung, 6.
- Spectralanalyse, 209.
 - Spectralstreifen 211.
- Mill, John Stuart, Zweifel in Betreff der Undulationstheorie, 166.

Miller, Zeichnungen und Beschreibungen der Spectra von verschieden gefärbten Flammen, 221.
Morton, Entdeckung des Thallens, 181.

N.

Natur, Auslegung durch einen Wilden, 4.
Newton, Sir Isaac, Versuche über die Zusammensetzung des Sonnenlichtes, 29.
— Spectrum, 30.
— Dispersion, 31.
— kommt auf die Emissionstheorie des Lichtes, 51.
— Einwurf gegen die Annahme eines Aethers, den Huyghens und Euler annehmen und vertheidigen, 55. 65.
— optische Laufbahn, 82.
— Ringe, 83.
— nimmt die Emissionstheorie an, 88.
— Folgen der Annahme, 89.
— Ringe, durch die Theorie der „Anwandlungen“ erklärt, 85.
— Entdeckung des Gesetzes der Proportionalität, 88.
— Ansicht über die Schwerkraft, 106.
— Irrthümer, 228.
Nicol'sches Prisma, 137.

O.

Ocean, Farbe, 39.
Oersted, entdeckt die Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom, 194.
Optik, Wissenschaft, 4.

P.

Pasteur, Ansicht über die Niederlage Frankreichs im letzten Kriege mit Deutschland, 241.

Perlmutter, Farben derselben, 102.
Physikalische Theorien, Entstehung derselben, 47.
Pigmente, Analyse ihrer Wirkung auf das Licht, 37.
— Mischung im Gegensatz zur Mischung von Licht, 42.
— Helmholtz enthüllt den Grund des Grün der Pigmente, 41.
— Unreinheit natürlicher Farben, 41.
Plücker, Zeichnungen der Spectra, 221.
Polarisation des Lichtes, 126.
— circulare, 157.
— des Himmelslichtes, 165. 175.
— durch künstliche Himmel, 175.
— der strahlenden Wärme, 198.
Polarisator und Analysator, 143.
Pole eines Magneten, 107.
Polariskop, gepresstes Glas in demselben, 149.
— ungekühltes Glas in demselben, 149.
Polarität, wie sie erzeugt wird, 107.
— der Atome, 109.
— Einfluss auf die Structur, 111.
— Polarisation des Lichtes, 126.
— geprüft durch den Turmalin, 127.
— geprüft durch Reflexion und Brechung, 128.
— Depolarisation, 134.
— Farbenercheinungen durch Krystalle im polarisirten Licht erzeugt, 135.
Powell, Professor, über Polarisation von Wärme, 198.
Prisma, das Nicol'sche, 137.
Proportionalität, Newton's Gesetz derselben, 88.

Q.

Quarz, Farbenercheinungen, 156.

R.

- Reflexion, partielle und totale, 19. 22.
 Regenbogen, Descartes' Erklärung desselben, 28.
 Respighi, Resultate, 224.
 Ritter, Entdeckung der ultravioletten Strahlen der Sonne, 178.
 Roemer, Olav, Beobachtungen über die Monde des Jupiter, 22.
 — Bestimmung der Geschwindigkeit des Lichtes, 23.
 Roskastanienrinde, Fluoreszenz, 183.
 Rosten des Eisens, Ursache, 6.
 Rubidium, Entdeckung durch Bunsen, 211.

S.

- Schall, Ansichten der Alten, 58.
 — Interferenz der Wellen, 68.
 — Höhe, 69.
 — Analogieen des Lichtes und des Schalles, 71.
 — Erklärung der Analogie zwischen Schall und Licht, 218.
 Schelling, Verachtung der experimentellen Wissenschaft, 16 Note.
 Schwefelsaures Chinin, zuerst beobachtet und beschrieben von Sir John Herschel, 183.
 Schwerd, Beobachtungen über die Diffraction, 100.
 Scoresby, lässt Schiesspulver durch Sonnenstrahlen, die durch grosse Eislinsen gesammelt worden sind, explodiren, 186.
 Secchi, Resultate, erhalten von ihm, 224.
 Seebeck, Thomas, entdeckt die Thermoelektricität, 194.
 — entdeckt die Polarisation des Lichtes durch Turmalin, 229.
 Seifenblasen und ihre Farben, 74. 81.
 Silberspectrum, Analyse, 209.
 Sirene, 69.

Tyndall, das Licht.

- Snell, Willebrod, Entdeckung, 16.
 — Gesetz, 26.
 — Wichtigkeit seines Gesetzes der Brechung, 26.
 Sonne, Chemie, 214. 216.
 — Spectralanalyse, 214.
 — rosagefärbte Sonnenprotuberanzen, 223.
 — Forscher in der Sonnenchemie, 224.
 Spectralanalyse, Gesetze, 207.
 — Spectra von weissglühenden Dämpfen, 209.
 — unterbrochene, 210.
 Spectralstreifen, charakterisiren die Dämpfe nach Bunsen und Kirchhoff, 211.
 — Entdeckungen dadurch, 211.
 — Analyse der Sonne und Sterne, 212.
 Spectroskope von Browning, 139.
 Spottiswoode, William, 138.
 — über die Spectra von polarisiertem Licht, 261.
 Stewart, Professor Balfour, Untersuchungen über Spectralanalyse, 222.
 Stokes, Professor, Vorschlag für künstliche Himmel, 175.
 — Resultate seiner Untersuchung von Substanzen, die durch die ultravioletten Wellen erregt worden sind, 179.
 — Entdeckung der Fluoreszenz, 181.
 — kommt fast der Entdeckung Kirchhoff's zuvor, 222.
 — Untersuchungen in der Spectralanalyse, 222.
 Strahlende Wärme, 191.
 — Diathermansie oder Durchlässigkeit für strahlende Wärme, 191.
 — Umwandlung der Wärmestrahlen in Lichtstrahlen, 192.
 — Bildung der unsichtbaren Wärmebilder, 198.
 — Polarisation derselben, 198.
 — doppelte Brechung, 201.
 — Magnetisirung derselben, 203.

T.

- Talbot, Versuche, 221.
 Thallen, Entdeckung, 180.
 — Wirkung auf das Spectrum, 180.
 Thallium, Spectralanalyse desselben, 209.
 — Entdeckung, 211.
 — in Barren durch Lamy, 211.
 Theorie, Verhältniss zum Versuch, 106.
 Thermoelektricität, Entdeckung, 194.
 Thermoelektrische Säule, 194.
 Tombeline, Mont, umgekehrtes Bild, 21.
 Tonhöhe, 69.
 Tonschwingungen, 155.
 Turmalin, Polarisation des Lichtes, 127.

U.

- Ultrarothe Strahlen des Sonnenspectrums, 187.
 — Wirkungen derselben, 189.
 Ultraviolette Sonnenstrahlen, 178.
 — entdeckt von Ritter, 178.
 — Wirkungen, 178.
 Undulationstheorie des Lichtes, Grundlagen, 54.
 — Sir David Brewster's Haupt-einwurf, 54.
 — Young's Begründung, 56.
 — Erscheinungen, die zuerst auf sie führten, 74. 81.
 — Mr. Mill's, 166.
 — Präsident Barnard's Abhandlung über dieselbe, 166.
 — Verdienste von Young, 230.

V.

- Vassenius beschreibt die rosagefärbten Sonnenprotuberanzen im Jahre 1733, 223.
 Versuche, Nutzen derselben, 3.

- Vitellio, Geschicklichkeit und Gewissenhaftigkeit, 16.
 — Untersuchungen des Lichtes, 227.
 Volta'sche Batterie, Nutzen derselben und ihre Erzeugung von Wärme, 7.

W.

- Wärme, Erzeugung, 7.
 — Draper's Untersuchungen, 190.
 — seine Entdeckung der dunkeln Sonnenstrahlen, 191.
 — strahlende Wärme, 191.
 Wasser, Krystallisation, 116.
 — sein Verhalten, betrachtet und erklärt, 119.
 Wasserschnellen, Ungestüm — des Niagara, 62.
 Erklärung des Gesetzes der Interferenz der Wellen, 63.
 Wasserwellen, 59.
 — Länge einer Welle, 59.
 — Interferenz von Wellen, 60.
 Weinsäure, unregelmässige Krystallisation und ihre Wirkungen, 148.
 Wertheim, Instrument zur Bestimmung von Zug und Druck durch die Farben von polarisirtem Licht, 150.
 Wheatstone, Sir Charles, 182.
 — Analyse des Lichtes des elektrischen Funkens, 221.
 Willigen, van der, Spectralzeichnungen, 221.
 Wissenschaft, Entwicklung derselben, 194. 222.
 Wolken, actinische, 171.
 — Polarisation derselben, 173.
 Wollaston, 212.
 — entdeckt die Ringe des Doppelpaths, 229.
 Woodbury, über die Unreinheit der natürlichen Farben, 42.
 Wunsch, Christian Ernst, über die drei einfachen Farben im weissen Licht, 45.
 — Versuche 45.

Y.

Youmans, Professor, Ausdauer und Geschicklichkeit, 2.

Young, Thomas, Entdeckung der ägyptischen Hieroglyphen, 55, und der Undulationstheorie des Lichtes, 56.

— Helmholtz's Urtheil über ihn, 57.

— durch Fresnel und Arago

zu seinem Recht gekommen, 57.

Young, durch Brougham in der „Edinburgh Review“ lächerlich gemacht, 57.

— verallgemeinert Grimaldi's Beobachtungen über das Licht, 65.

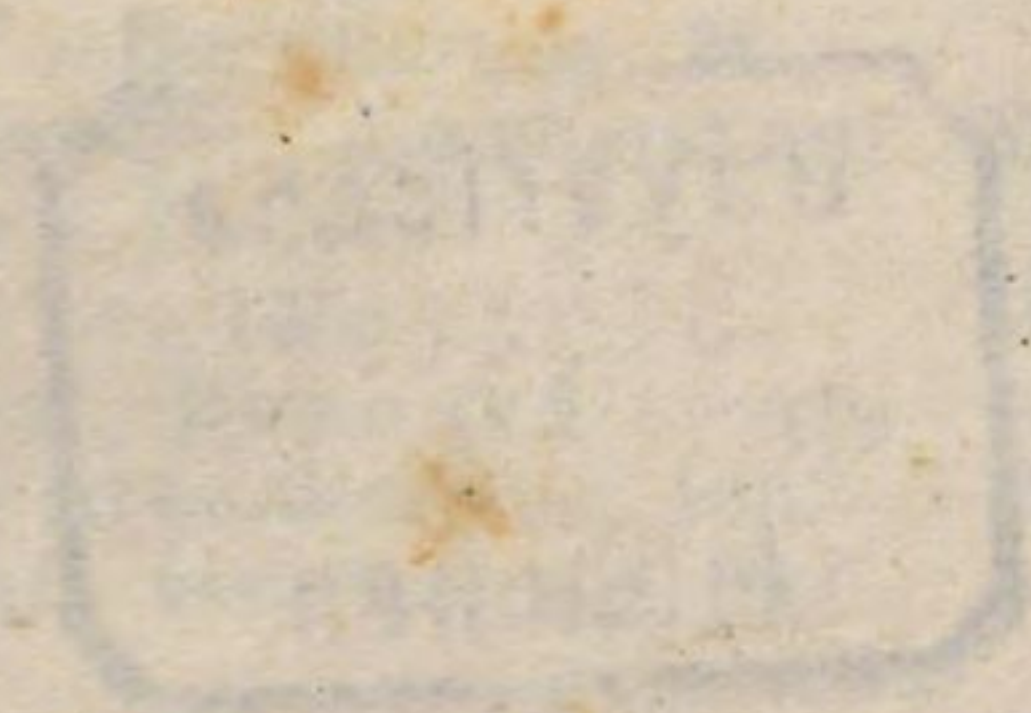
— photographirt die ultravioletten Ringe von Newton, 179.

— Resultate in der Sonnenchemie, 224.



zu einem recht gekannten
at.
Forn, durch Brücken in
der, hindurch führen
Hof, gegen die
- xtraordinäre, die
Beobachtung, die
- xtraordinäre, die
- xtraordinäre, die
- xtraordinäre, die

Y.
Forn, die
- xtraordinäre, die
- xtraordinäre, die
- xtraordinäre, die
- xtraordinäre, die
- xtraordinäre, die
- xtraordinäre, die
- xtraordinäre, die



Tyndall, John,

Das Licht Sechs Vorlesungen gehalten in Amerika im Winter 1872-1873. Mit
e. Portrait von Thomas Young

Braunschweig 1876

Math.a. 320 v

urn:nbn:de:bvb:12-bsb11335100-3